

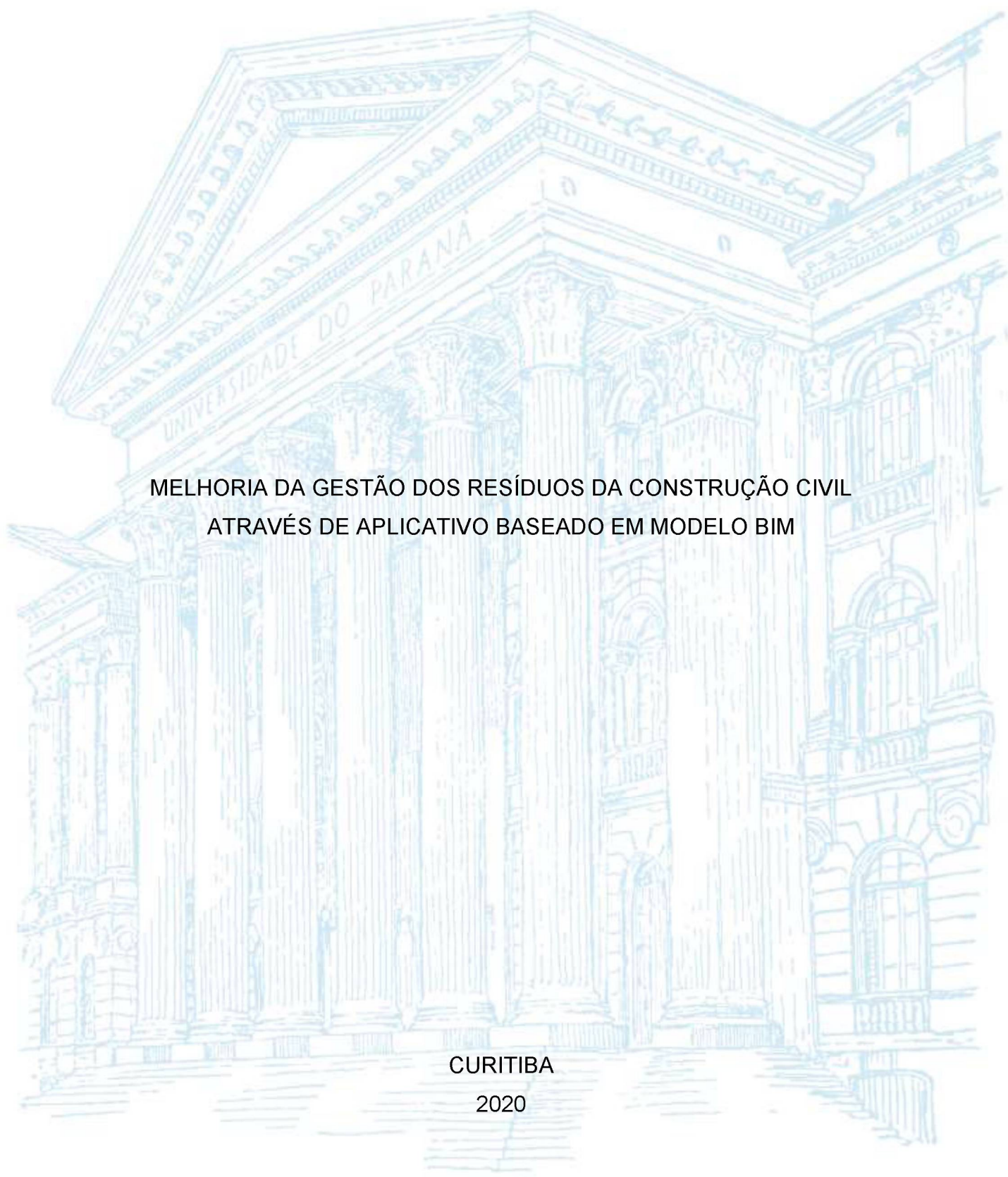
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATA DEGRAF MIARA

MELHORIA DA GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
ATRAVÉS DE APLICATIVO BASEADO EM MODELO BIM

CURITIBA

2020



RENATA DEGRAF MIARA

MELHORIA DA GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
ATRAVÉS DE APLICATIVO BASEADO EM MODELO BIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador Prof. Dr. Sergio Scheer.

CURITIBA

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

M618m Miara, Renata Degraf
Melhoria da gestão dos resíduos da construção civil através de aplicativo baseado em modelo BIM [recurso eletrônico] /Renata Degraf Miara. – Curitiba, 2020.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2020.

Orientador: Sergio Scheer.

1. Construção Civil. 2. Modelagem da informação da construção. 3. Resíduos como material de construção. 4. Desperdício (Economia). I. Universidade Federal do Paraná. II. Scheer, Sergio. III. Título.

CDD: 690

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL - 40001016049P2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **RENATA DEGRAF MIARA** intitulada: **MELHORIA DA GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DE APLICATIVO BASEADO EM MODELO BIM**, sob orientação do Prof. Dr. SÉRGIO SCHEER, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são do parecer pela sua **APROVAÇÃO** do rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 19 de Fevereiro de 2020.

SÉRGIO SCHEER

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

SÉRGIO FERNANDO TAVARES

Avallador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

ANDRÉ NAGALLI

Avallador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

*Dedico este trabalho a meu noivo Otto, meus pais Andréa e Dalton e minha
irmã Fernanda. Sem vocês nada seria possível.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por esta oportunidade.

Agradeço ao meu professor orientador Sergio Scheer pela orientação, apoio e confiança e principalmente por toda a dedicação e tempo despendidos na orientação do meu trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPR (PPGECC – UFPR) por fomentar a pesquisa de qualidade neste país.

Aos professores do PPGECC: Sergio Tavares, membro da banca, e Adriana de Paula Lacerda Santos, professora da disciplina de gerenciamento de obras, por terem contribuído no desenvolvimento do trabalho.

Agradeço também ao professor da banca, André Nagalli, pelas contribuições dadas ao meu trabalho.

Por fim, a todos que de alguma forma colaboraram e incentivaram, direta e indiretamente, para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“O trabalho só nos cansa se não nos dedicarmos a ele com alegria.”

Rabindranath Tagore

RESUMO

Um dos principais aspectos relacionados a construções mais sustentáveis é a geração dos resíduos ligados aos processos de construção e demolição. Quantificar esses resíduos é essencial para seu gerenciamento efetivo, visto que esses resultados se tornam informações para promover um gerenciamento sustentável da obra. Ao integrar vários projetos em um único modelo, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) pode facilitar o compartilhamento de informações. Através do uso do BIM, é possível identificar processos críticos na geração de resíduos e planejar estratégias de controle. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um método para quantificar os resíduos sólidos da construção civil de forma automática. O método é baseado em uma Interface de Programação de Aplicativo (API) integrada ao BIM, baseado nos conceitos de economia circular e construção enxuta, a fim de otimizar a geração de resíduos auxiliando a gestão dos mesmos em um empreendimento. O aplicativo desenvolvido poderá também auxiliar na documentação de novas obras, facilitando a emissão de relatórios necessários aos processos de órgãos ambientais. A estratégia de pesquisa utilizada se apoia na Design Science Research (DSR). Para o desenvolvimento do estudo foram realizadas duas revisões sistemáticas da literatura e um questionário com profissionais da área. Para a validação do aplicativo, uma edificação foi modelada em três métodos de construção distintos: alvenaria, *light-steel frame* e *wood-frame*. Ao final, os resultados obtidos foram comparados com resultados da literatura e foi possível validar a utilização do aplicativo para demais edificações.

Palavras-chave: Construção Civil. Desperdício. BIM. Resíduos. Economia Circular.

ABSTRACT

One of the main aspects related to more sustainable buildings is the generation of waste related to the construction and demolition processes. Quantifying such waste is essential for its effective management, as these results become information to promote sustainable management of the works. By integrating multiple projects into a single model, Building Information Modeling (BIM) can facilitate information sharing. Through the use of BIM, it is possible to identify critical processes regarding waste generation and plan control strategies. The main goal of this research is to develop a method to automatically quantify solid waste from civil construction. The method is based on an Application Programming Interface (API) integrated with BIM, based on the concepts of circular economy and lean construction, in order to optimize waste generation by assisting its management in a project. The developed application can also assist in the documentation of new works, helping the issuance of reports necessary for the procedures at environmental agencies. The research strategy is based on Design Science Research (DSR). For the development of the study, two systematic literature reviews and a questionnaire with engineers and architects were carried out. For application validation, a building was modeled on three different construction methods: masonry, light-steel frame and wood-frame. In the end, the results obtained were compared with results from the literature and it was possible to validate the use of the application for other buildings.

Keywords: Civil construction. Waste. BIM. Circular Economy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de vida de uma edificação baseado na economia circular	18
Figura 2 - Passo a passo aprovação de um projeto	22
Figura 3 - Finalização da documentação de um projeto.....	24
Figura 4 - Elementos Principais da Constructive Research.....	42
Figura 5 - Delineamento da pesquisa	46
Figura 6 - Estrutura conceitual de um aplicativo BIM para o gerenciamento dos RCD	56
Figura 7 - Integração entre aplicativo e softwares BIM.....	57
Figura 8 - Exemplo da estrutura de programação do Dynamo	58
Figura 9 - Aba WasteBIM dentro do software Revit®.....	59
Figura 10 - Atualização dos índices	61
Figura 11 - Interface para usuário do "WasteBIM"	61
Figura 12 - Rotina da utilização do aplicativo.....	63
Figura 13 - Estrutura do aplicativo	64
Figura 14 - Inserir dados do projeto	65
Figura 15 - Inserir dados da obra.....	65
Figura 16 - Relatório PGRCC	68
Figura 17 - Relatório Geral.....	69
Figura 18 - Relatório planejado x real	70
Figura 19 - Planta baixa R1-B do CUB	75
Figura 20 - R1-B modelada em alvenaria convencional	76
Figura 21 - R1-B modelada em light-steel frame.....	77
Figura 22 - R1-B modelada em wood-frame	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Revisão Sistemática da Literatura.....	29
Tabela 2 - Coeficientes multiplicadores por tipo de material	35
Tabela 3 - Resultados da busca por palavras-chave.....	36
Tabela 4 - Condução da revisão sistemática	37
Tabela 5 - Avaliação quanto à geração de resíduos dos sistemas estruturais	50
Tabela 6 - Avaliação quanto à geração de resíduos dos sistemas de vedação.....	50
Tabela 7 - Avaliação das barreiras no gerenciamento de resíduos.....	51
Tabela 8 - índice de perdas adotado.....	60
Tabela 9 - Ajuste de unidades	71
Tabela 10 - Consumo de aço e fôrmas	72
Tabela 11 - Consumo de argamassa e de blocos	72
Tabela 12 - Consumo de tinta por m ² de parede.....	73
Tabela 13 - Cronograma da obra.....	79
Tabela 14 - Resultados para edificação em alvenaria.....	80
Tabela 15 - Resíduos em m ³ por classe por mês.....	81
Tabela 16 - Resumo total.....	82
Tabela 17 - Resíduos gerados em m ³	84
Tabela 18 - Resultados para edificação em light-steel frame	85
Tabela 19 - Resíduos em m ³ por classe por mês.....	86
Tabela 20 - Resumo total.....	87
Tabela 21 - Quantidade de resíduos gerados em m ³	88
Tabela 22 - Resultados para edificação em wood-frame	90
Tabela 23 - Resíduos em m ³ por classe por mês.....	91
Tabela 24 - Resumo total.....	92
Tabela 25 - Quantidade de resíduos gerados em m ³	93
Tabela 26 - Resultados de geração de resíduos em m ³ por método construtivo	95
Tabela 27 - Resultados por método construtivo	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Plano de ação 5W1H	30
Quadro 2 - Resultados Plano de Ação 5W1H	32
Quadro 3 - Resultado da revisão sistemática da literatura	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição do PIB Brasileiro em 2017	16
Gráfico 2 - Métodos de quantificação dos resíduos da construção	30
Gráfico 3 - Etapa do ciclo de vida	31
Gráfico 4 - Abordagem principal	31
Gráfico 5 - Número de artigos por método	40
Gráfico 6 - Porcentagem de artigos por etapa do ciclo de vida	41
Gráfico 7 - Barreiras mais impactantes na gestão dos resíduos	53
Gráfico 8 - % de resíduos por classe	83
Gráfico 9 - % de resíduos por classe	89
Gráfico 10 - % de resíduos por classe	94

SUMÁRIO

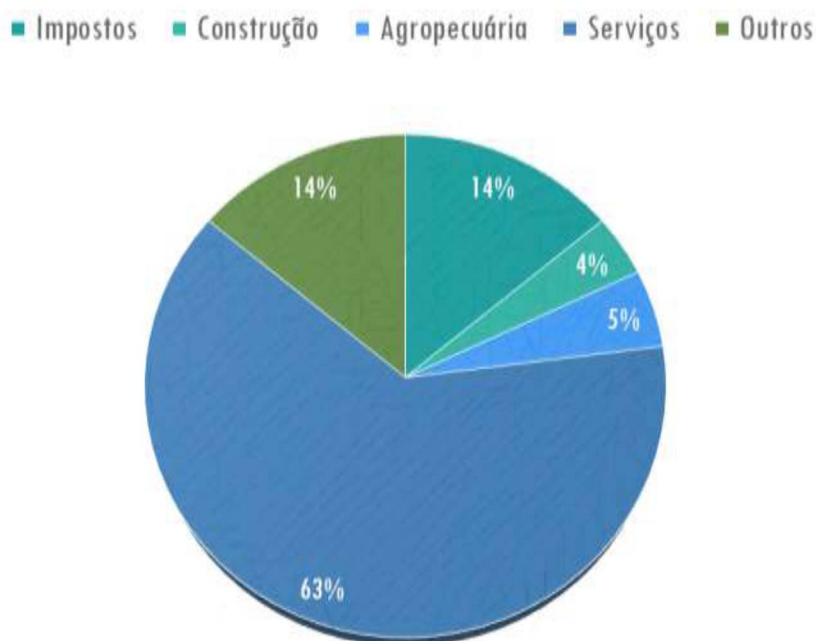
1	INTRODUÇÃO	16
1.1	PROBLEMA	19
1.2	OBJETIVO	20
1.3	JUSTIFICATIVA	20
1.4	CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA	25
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	27
1.6	RESULTADOS JÁ PUBLICADOS	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1	MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO	28
2.1.1.	Revisão sistemática da literatura	28
2.2	BIM E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO	36
2.2.1.	Revisão sistemática da literatura	36
3	MATERIAIS E MÉTODO	42
3.1	DESIGN SCIENCE RESEARCH	42
3.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA	43
3.2.1.	Identificação do problema	44
3.2.2.	Conscientização do problema	44
3.2.3.	Revisão Sistemática da Literatura	44
3.2.4.	Questionário com profissionais	44
3.2.5.	Estrutura conceitual	45
3.2.6.	Desenvolvimento do artefato	45
3.2.7.	Aplicação do artefato	46
3.2.8.	Conclusão e aprendizagens	47
3.2.9.	Generalização do artefato	47
4	QUESTIONÁRIO	48
4.1	REALIDADE REGIONAL	48
4.2	REALIDADE ESPECÍFICA	51
5	DESENVOLVIMENTO	55

5.1	ESTRUTURA CONCEITUAL	55
5.2	PROGRAMAÇÃO	57
5.3	RELATÓRIOS E FUNÇÕES	62
5.4	REQUISITOS E LIMITAÇÕES	73
6	APLICAÇÕES, RESULTADOS E VALIDAÇÃO	75
6.1	ALVENARIA	79
6.2	<i>LIGHT-STEEL FRAME</i>	84
6.3	WOOD-FRAME	89
6.4	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS E VALIDAÇÃO	94
7	CONCLUSÕES E APRENDIZAGENS	97
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
	REFERÊNCIAS	100
	Apêndice A	115
	Apêndice B	116
	Apêndice C	117

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais segmentos da indústria brasileira e é tida com um indicativo de crescimento econômico e social. Em 2017, segundo o IBGE, o PIB da indústria da construção civil representou 4,5% do PIB brasileiro total, conforme ilustra o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Composição do PIB Brasileiro em 2017



Fonte: Elaborado pela autora.

Dados: IBGE (2018).

No entanto, a construção é também uma atividade geradora de impactos ambientais. A construção civil como hoje é conduzida, principalmente no Brasil, onde boa parte dos processos construtivos é essencialmente manual, com execução praticamente integral no canteiro de obras, é uma grande geradora de resíduos (NAGALLI, 2014).

Na China, aproximadamente 1,13 bilhões de toneladas de resíduos de Construção e Demolição (C&D) foram gerados em 2014 (LU et al., 2016). No Brasil foram coletados 45,1 milhões de toneladas de resíduos da C&D no ano de 2016 (ABRELPE, 2016). No Reino Unido 32% do material destinado aos aterros é resíduo proveniente da C&D (PRISM ENVIRONMENT, 2012). A indústria da construção é responsável por 25-30% de todos os resíduos gerados na União Europeia (COMISSION, 2015) e de 20% no Japão (MOE, 2014).

Esses resíduos, representam grande parte do material destinado aos aterros e são produzidos durante a construção em si, e ao fim da vida da edificação – após sua demolição.

Além de ser um problema ambiental, a geração de resíduos pode ser tratada como um problema econômico, visto que esses resíduos se constituem em perdas na produção. O desperdício de materiais gera custos para toda a sociedade, as construtoras gastam mais para realizar seus empreendimentos e o poder público para recolher, tratar e descartar o entulho.

Os principais problemas que surgem dos resíduos de construção incluem o esgotamento dos aterros, a emissão de carbono e gases de efeito estufa, o enorme desperdício de energia e matérias-primas e o aumento dos custos do projeto (BILAL et al. 2015).

Um estudo realizado pela Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia (FINEP, 2003), mostra que, em média, na construção civil se gasta até 8% a mais em material do que o necessário devido a perdas – tanto na própria edificação quanto em entulho. Este resíduo produzido é definido como desperdício, e a redução desse desperdício é um dos grandes desafios do setor da construção.

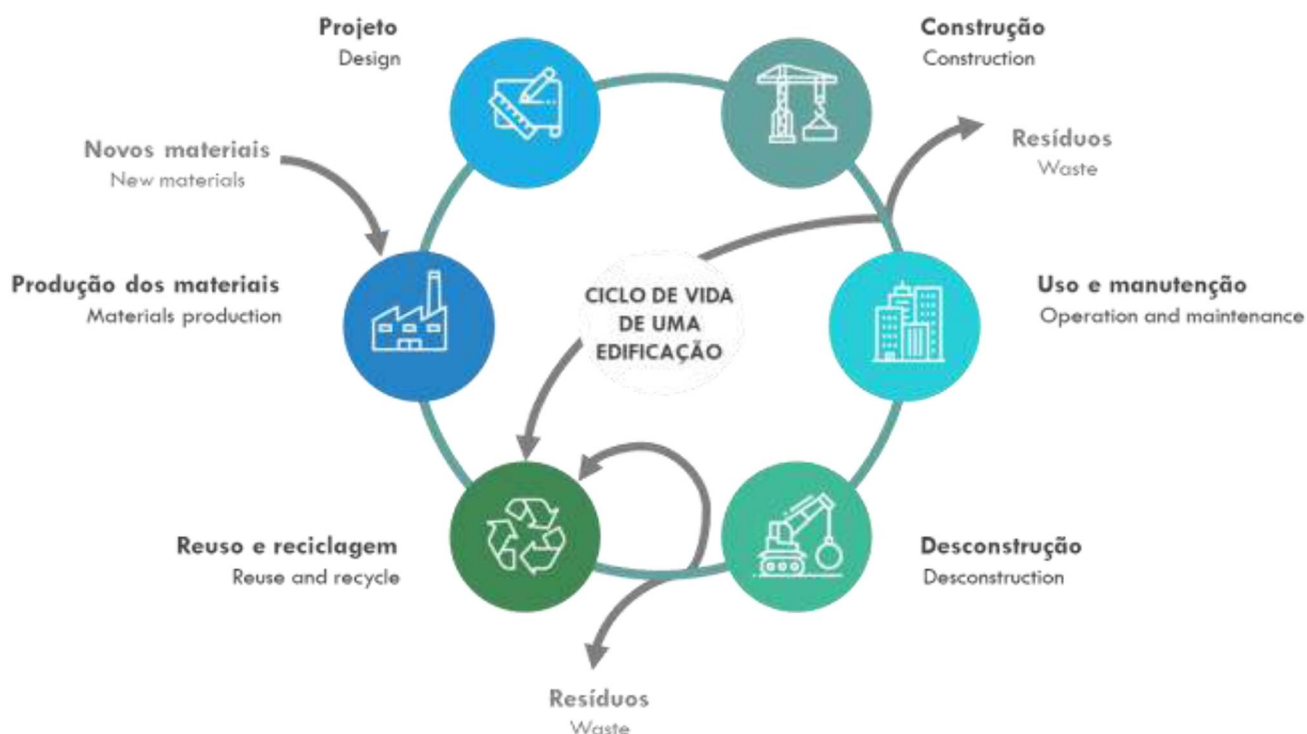
Com o objetivo de solucionar este desafio em 1992, o finlandês Lauri Koskela trouxe os princípios de gestão da qualidade total, para a realidade da construção civil. A junção ficou conhecida como Lean Construction, ou construção enxuta, em alusão ao Lean Manufacturing, ou produção enxuta (FORMOSO, 2011). A construção enxuta tem como intuito promover na construção civil a redução ao mínimo possível dos custos e desperdícios no processo, aumentando a satisfação dos clientes, a qualidade da obra e as margens de lucro e melhorando o posicionamento de mercado da empresa (SEBRAE, 2016). Esta filosofia se destaca por possibilitar resultados expressivos na diminuição de desperdícios, prazos e custos e no aumento da produtividade e da qualidade (FORMOSO, 2011).

Outro conceito desenvolvido, desta vez aliado aos princípios da sustentabilidade, é o da economia circular. Nos últimos 150 anos, o sistema de produção e comércio adotado mundialmente foi linear baseado na extração de materiais, produção e descarte de produtos (WEETMAN, 2019). Como proposta de solução, foi desenvolvida a ideia de uma economia circular, que substitui a abordagem “extrair, produzir e descartar” e propõe usar recursos ao invés de consumi-los e eliminar resíduos no projeto e fabricação de um produto, e não somente em seu descarte (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

A economia circular tem como o objetivo integrar cada vez mais as etapas do ciclo de vida, reduzindo o desperdício e proporcionando uma maior reutilização dos materiais.

O gerenciamento de resíduos visando à economia circular é o de diminuir a geração de resíduos nas etapas de construção e desconstrução e diminuir a inserção de novas matérias primas na produção de materiais, conforme a Figura 1. Projetar a geração de resíduos desde o princípio, alinhando projeto, construção e demolição proporciona um fluxo de recursos circular entre as indústrias, os canteiros de obras e as edificações (ARUP, 2016).

Figura 1 - Ciclo de vida de uma edificação baseado na economia circular



Fonte: Elaborado pela autora.

Baseado nos conceitos de economia circular e construção enxuta apresentados anteriormente, pode-se concluir que o gerenciamento de resíduos da construção civil deve focar na prevenção do desperdício e se apoiar na ideia de um projeto sem geração de resíduos.

1.1 PROBLEMA

O gerenciamento de resíduos deve ser baseado no reuso, na reciclagem e na sua correta disposição (WRAP, 2010). No entanto, as alternativas existentes tomadas pela indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) focam no tratamento dos resíduos da construção apenas após sua geração (CHENG; MA, 2013).

Segundo Nagalli (2014), a prevenção de resíduos é de fato a solução mais impactante. Seguida por minimização, reutilização, reciclagem sendo o descarte a última opção sugerida para a destinação dos resíduos sólidos.

Nota-se que estimar as perdas e desperdícios gerados na construção civil de forma acurada é vital para a minimização dos mesmos na etapa de projeto, visto que a quantificação dos resíduos é uma etapa fundamental do processo de gerenciamento (NAGALLI, 2014). A quantificação é essencial para um gerenciamento efetivo pois os resultados se tornam informações essenciais para promover um gerenciamento sustentável da obra (JALALI, 2007).

Essa visão permite aos projetistas visualizarem e explorarem medidas corretivas de forma a aumentar a eficiência da construção. Além disso, pode habilitar os empreiteiros a identificar processos críticos na geração de resíduos e planejar estratégias de controle.

Atualmente, os métodos de quantificação de resíduos existentes não são suficientemente convenientes para os construtores utilizarem sem demandar muito tempo e esforço. A Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* ou BIM) pode suprir essa necessidade (CHENG; MA, 2013).

BIM é um dos mais recentes desenvolvimentos na indústria da arquitetura engenharia e construção (AEC). Através do uso do BIM, um modelo digital acurado da edificação é construído (AZHAR, 2011). BIM surgiu como uma solução para facilitar a integração do gerenciamento das informações durante todo o ciclo de vida das edificações (WONG; ZHOU, 2015) e sua utilidade já se encontra bem reconhecida no âmbito das construções e da indústria.

Um modelo BIM proporciona a superposição de projetos de diferentes disciplinas em um único modelo criando oportunidades para tornar as construções mais sustentáveis desde o início do processo de projeto. Um modelo BIM pode ser utilizado para a visualização dos impactos das diferentes alternativas de projeto na sustentabilidade do edifício, proporcionando aos projetistas um processo de decisão mais racional.

Por integrar diversos projetos em um único modelo, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) pode promover esta sinergia necessária de forma a aliar: construção enxuta e economia circular na redução da geração de resíduos da construção.

Dessa forma há uma evidente necessidade de desenvolvimento de método para auxiliar os gestores da construção na minimização dos resíduos antes mesmo da sua geração (GONÇALVES et al., 2015).

Esta pesquisa busca então responder a seguinte questão: como integrar a quantificação dos resíduos da construção, na etapa de projeto, ao modelo BIM proporcionando resultados de maneira simples e rápida?

1.2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um método para quantificar os resíduos sólidos da construção civil de forma automática, baseada em uma Interface de Programação de Aplicativo (API) integrada ao BIM e incorporada aos conceitos de economia circular e construção enxuta.

O aplicativo desenvolvido é capaz de extrair, por material, o volume de resíduos gerados a partir de um modelo BIM resultando em uma estimativa detalhada da geração de resíduos no projeto. O quantitativo gerado é então descrito conforme as etapas do cronograma estabelecidas pelo construtor.

1.3 JUSTIFICATIVA

Um projeto arquitetônico deve ser realizado a partir de informações do terreno ou lote, como orientação solar, topografia e outras questões. Além disso, o projeto deve obedecer a legislação vigente em relação aos parâmetros de uso do solo para que o mesmo seja aprovado.

A aprovação de um projeto é um processo burocrático sob o qual toda e qualquer obra deve ser submetida. Toda obra que venha a ser desenvolvida, como por exemplo: terraplenagem, construção, demolição ou modificação, deve ter seu projeto aprovado junto à prefeitura municipal para obtenção do alvará de construção.

Este procedimento de aprovação tem como intuito garantir que o imóvel esteja totalmente regularizado junto à prefeitura. Além disso, permite que dessa forma a prefeitura fiscalize se medidas de zoneamento exigidas, como: recuo mínimo, permeabilidade mínima, coeficiente de aproveitamento e taxa de ocupação máximos, etc. estão sendo cumpridas.

Na maioria das cidades o procedimento inicia-se a partir do desenvolvimento do projeto arquitetônico legal. Uma vez este desenvolvido e finalizado deverão ser realizados protocolos e vistorias em diferentes órgãos conforme ilustra a Figura 2.

Um dos principais órgãos a serem consultados e terem processos protocolados, no caso da cidade de Curitiba, é a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA).

Na Secretaria Municipal do Meio Ambiente deverão ser protocolados dois processos. O primeiro diz respeito à uma autorização para execução de obras. O segundo processo diz respeito ao Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Deverá ser entregue à SMMA um relatório com os resíduos a serem gerados, identificados por suas classes, e seus volumes previstos. Neste relatório deverão ser descritas as medidas de controle para cada um dos tipos de resíduos. Este relatório é de suma importância e é exigido para aumentar o controle sobre esses resíduos gerados e tentar impedir que estes sejam destinados de maneira incorreta.

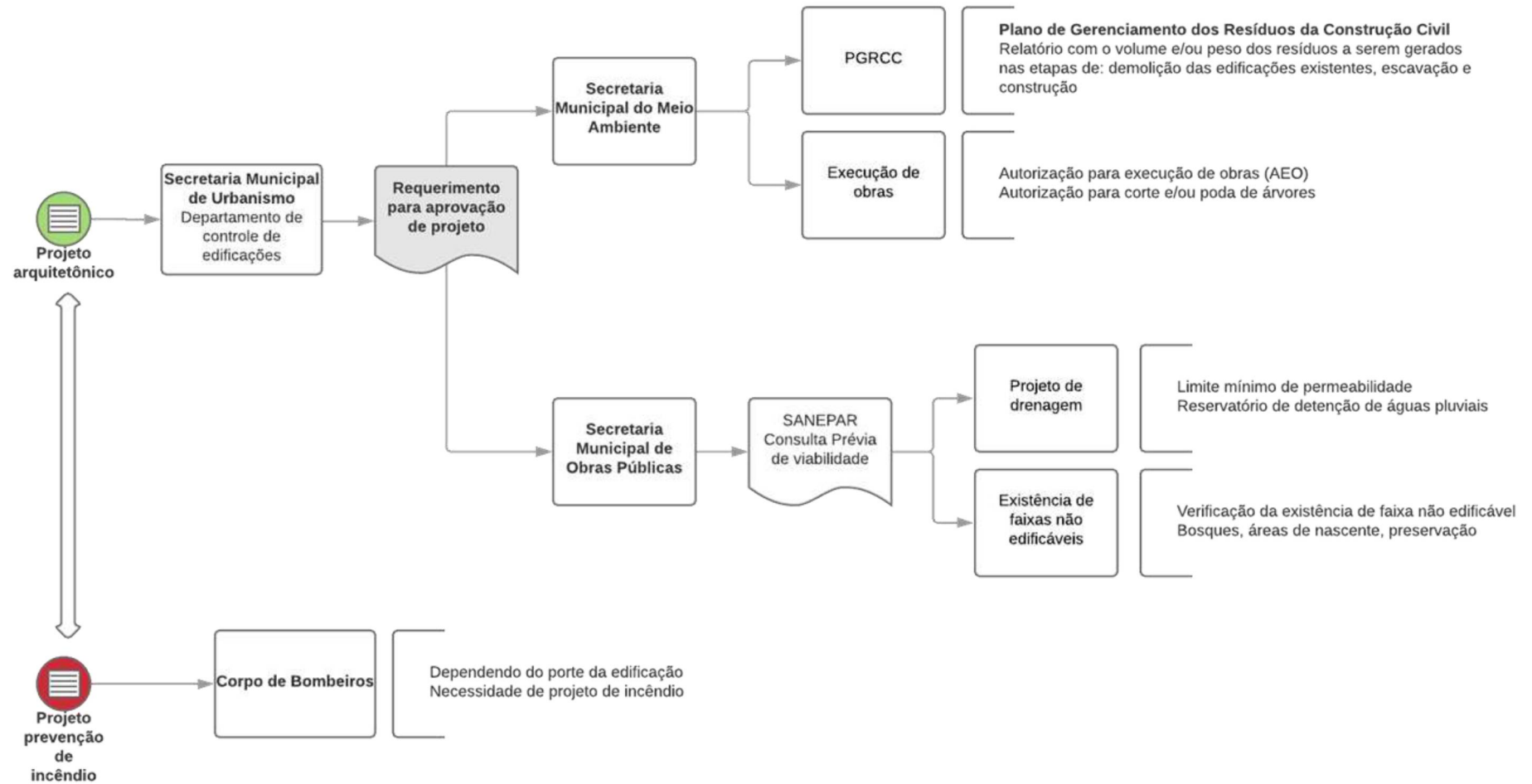
Uma vez que todos os processos, em todos os órgãos, tenham sido aprovados e entregues à Secretaria Municipal de Urbanismo é emitido o Alvará de Construção. Todos estes relatórios deverão ser arquivados, e pode ser iniciada a construção.

Após a conclusão da obra deverão ser emitidos laudos pela companhia de tratamento de água, pelo Corpo de Bombeiros e pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Na Secretaria Municipal do Meio Ambiente, o laudo diz respeito aos dois processos deverão ser finalizados os dois processos abertos anteriormente.

O processo que diz respeito ao Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção visa comprovar a destinação dos resíduos gerados. Devendo então ser entregues todos os comprovantes de geração e destinação de resíduos (chamados MTR ou manifesto de transporte de resíduos) e entregue o Relatório de Gerenciamento de Resíduos da Construção (RGRCC).

Uma vez concluída a documentação necessária e tendo sido obtidos todos os laudos descritos conforme a Figura 3, pode ser solicitada a vistoria da prefeitura e se o empreendimento estiver de acordo é emitido o Certificado de Vistoria e Conclusão de Obras (CVCO).

Figura 2 - Passo a passo aprovação de um projeto



Fonte: Elaborado pela autora.

Este trabalho tem como intenção promover uma melhoria na gestão dos resíduos da construção civil e trata-se de uma inovação tecnológica por adotar a Modelagem da Informação da Construção como base para seu desenvolvimento.

O aplicativo desenvolvido auxilia na gestão in loco da obra e, também, na redução dos resíduos gerados – através de melhorias implantadas a partir de uma visão mais detalhada do projeto, promovendo menores desperdícios e, portanto, reduzindo o impacto ambiental gerado em obras da construção civil.

Além disso, o aplicativo auxilia na fase de documentação e aprovação do projeto, uma vez que o relatório gerado como resultado do processo poderá ser encaminhado à Secretaria do Meio Ambiente de forma quase que imediata.

A partir da descrição acima, pode-se concluir que o trabalho trará benefícios sociais, econômicos e ambientais, pois atingirá diferentes classes de indivíduos e parcelas da sociedade.

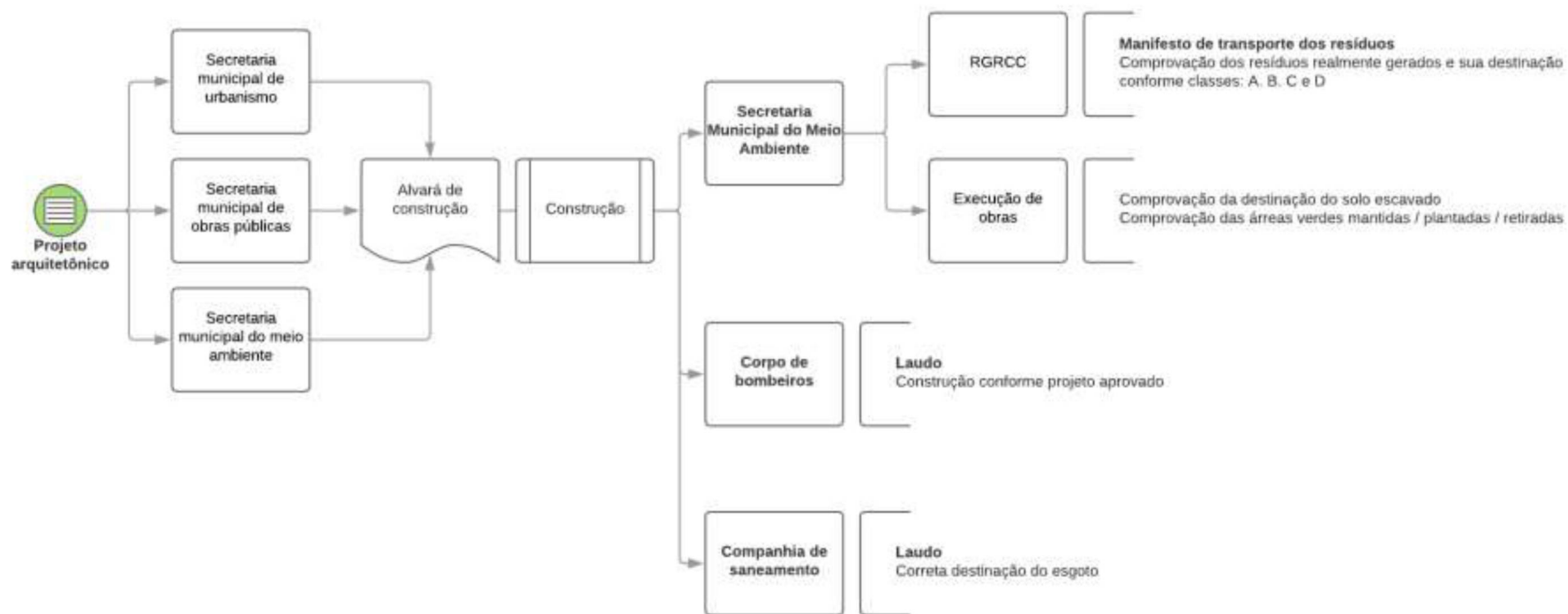
Engenheiros e arquitetos projetistas serão beneficiados devido à maior facilidade na geração de relatórios para aprovação de projetos.

Construtoras, a partir da utilização do método desenvolvido, poderão promover um melhor gerenciamento dos resíduos em suas obras. E, através da redução do desperdício poderão ser reduzidos os custos para o desenvolvimento de novos empreendimentos.

Órgãos fiscalizadores, como por exemplo a Secretaria Municipal do Meio Ambiente, no caso de Curitiba, terão disponibilidade de informações mais precisas tornando possível controlar melhor a geração e destinação de resíduos.

Por fim, a sociedade no geral será beneficiada, pois através de um melhor gerenciamento serão gerados menos resíduos reduzindo o impacto ambiental e através da redução dos custos às construtoras, citado anteriormente, será possível um maior acesso à habitação.

Figura 3 - Finalização da documentação de um projeto



Fonte: Elaborado pela autora.

1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

O programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná possui como uma das suas áreas de concentração: “Ambiente Construído e Gestão”.

Dentro dessa área de concentração vários trabalhos foram produzidos utilizando Modelagem da Informação da Construção (BIM) para construções mais sustentáveis. Esses trabalhos envolveram em sua maioria a proposição do uso do BIM para avaliação dos impactos gerados pela construção de novas edificações.

The Global Development Research Center (2019) definiu a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como uma técnica de avaliação e quantificação de impactos ambientais associados a um produto ou processo. No entanto esta avaliação consistia em uma análise separada do desenvolvimento do projeto, para o caso de edificações, realizada apenas após o mesmo estar finalizado.

De forma a integrar esta avaliação ao processo de projeto e proporcionar análises mais rápidas, servindo de apoio à tomada de decisão em relação a mudanças de projeto, Marcos (2009) propôs a análise das emissões de CO₂ na fase pré-operacional de uma edificação através de uma ferramenta CAD-BIM. Marcos (2015), em sua tese de doutorado em outro Programa, propôs a inserção da avaliação de impactos ambientais durante o processo de projeto.

Araújo (2017) contribuiu através de uma integração da realização de avaliação do ciclo de vida em edificações a partir de modelagem BIM. Crippa (2019) propôs uma melhor automatização dos processos de inserção de banco de dados para integração do BIM com análises do ciclo de vida agilizando ainda mais o processo.

Através de uma avaliação dos impactos ambientais integrada ao processo de projeto, as alterações de propostas e projetos podem ser feitas no início do desenvolvimento do mesmo. Isso proporciona uma redução nos custos e retrabalhos gerados, em comparação à quando estas alterações ocorrem em etapas onde o projeto já está mais desenvolvido.

Uma ACV consiste em avaliar os mais diversos impactos, sendo que para o caso de edificações, os impactos mais avaliados são: emissão de gases do efeito estufa e os gastos energéticos desde as etapas de produção dos materiais, construção, uso e até mesmo a demolição.

Conforme citado anteriormente, um dos principais impactos relacionados à construção de edificações é a geração de resíduos.

Muitos trabalhos foram realizados propondo a quantificação desta geração de resíduos, tanto em métodos construtivos convencionais quanto em outras alternativas.

Mass (2017) avaliou a geração de resíduos de uma residência em sistema construtivo *light-steel frame* e comparou os resultados com a simulação de uma edificação em alvenaria modelada em software BIM. Oliveira (2016) e Leitner (2019) avaliaram os impactos e o desempenho de uma edificação construída no sistema construtivo *wood-frame*. Azevedo (2019) avaliou o ciclo de vida energético e de CO₂ de uma edificação em *wood-frame* através da utilização do BIM.

Assim como a realização de uma ACV, a quantificação dos resíduos da construção civil também pode ser otimizada e integrada ao processo de projeto. Para tanto, Carvalho (2016) defendeu o uso do BIM para quantificação dos resíduos apoiado na ideia de parametrização do projeto arquitetônico.

Barros e Hochleitner (2017), na Universidade Tecnológica Federal do Paraná propuseram a criação de um plug-in, também chamado API (Interface de Programação de Aplicativo), para quantificação dos resíduos de construção de uma habitação. Os resultados apresentados pelo aplicativo consistiam em número de caçambas de resíduos gerados por obra.

Carvalho (2016) propõe a quantificação dos resíduos da construção civil a partir de um modelo BIM. O trabalho aqui apresentado busca também quantificar os resíduos gerados, no entanto utiliza como base conceitos de economia circular e construção enxuta para apoiar a ideia de projetos sem geração de resíduos.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho é dividido em sete capítulos. No Capítulo 1 é introduzida a temática, contextualizando o trabalho frente aos principais conceitos utilizados. É definido o problema e o objetivo final. O Capítulo 2 compreende o embasamento teórico dos temas discutidos nesta dissertação, este embasamento é realizado através de duas revisões sistemáticas da literatura, que ilustram o estado-da-arte da área de estudos. No capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento da pesquisa relativa a esta dissertação. No capítulo 4, são apresentados os resultados de um questionário realizado e no capítulo 5 o desenvolvimento do método. No capítulo 6 são apresentados os resultados e aplicações e no capítulo 7 as conclusões. As referências e apêndices estão dispostos ao final do trabalho.

1.6 RESULTADOS JÁ PUBLICADOS

O primeiro artigo publicado refere-se à finalização da etapa de revisão bibliográfica e tem como referência uma das revisões sistemáticas realizadas neste trabalho. Esse foi publicado nos anais do *III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles* (MIARA; SANTOS; SCHEER, 2019).

O segundo artigo publicado foi resultado do questionário realizado, apresentado no capítulo 4. Esse artigo foi publicado nos anais do XI Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, tendo sido apresentado em outubro de 2019 na cidade de Londrina (MIARA; TAVARES; SCHEER, 2019).

O terceiro artigo, por sua vez, diz respeito ao desenvolvimento do trabalho e principalmente do desenvolvimento da estrutura conceitual, também aqui apresentados. Esse artigo foi apresentado no *II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção* (SBTIC) realizado em agosto de 2019 na cidade de Campinas (MIARA; SCHEER, 2019).

O quarto artigo desenvolvido ilustra os resultados do aplicativo desenvolvido e sua validação e foi publicado no *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering* em seu décimo primeiro volume no ano de 2019. O artigo é intitulado *Optimization of construction waste management through an integrated BIM-API* (MIARA; SCHEER, 2019).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica e o consequente enquadramento da pesquisa, contemplando duas temáticas: **Métodos de Quantificação dos Resíduos da Construção e Integração entre BIM e gerenciamento de resíduos da construção.**

Para cada temática realizou-se uma conceituação e uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL).

2.1 MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO

Os métodos de quantificação dos resíduos da construção civil em sua grande maioria são obtidos através de análises estatísticas de dados de projetos e/ou obras já realizados ou através da simples observação dos mesmos (MIARA; SANTOS; SCHEER, 2019). Para o desenvolvimento do aplicativo fez-se necessário estudar os diversos métodos existentes na literatura e, portanto, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura.

2.1.1. Revisão sistemática da literatura

2.1.1.1. Condução da Revisão Sistemática

Para que este objetivo pudesse ser alcançado foi realizada uma revisão sistemática da literatura, conforme o protocolo no Apêndice A.

Foram selecionadas três bases de dados científicas para a realização da pesquisa, sendo elas:

- Scopus;
- ASCE;
- Scielo.

Já, os termos de busca adotados foram: “construction waste”, “quantification”, “method”. A partir da inserção dos termos de busca nas bases de dados primeiramente obteve-se um resultado de 58 artigos, conforme ilustra a Tabela 1.

Foram selecionados para delimitação da pesquisa apenas artigos publicados em revistas e/ou congressos. Após leitura dos títulos e resumos foram selecionados 28 artigos. Os critérios de inclusão e exclusão adotados foram respectivamente: trabalhos que abordam métodos para quantificar resíduos sólidos da construção e demolição, trabalhos não direcionados para a área de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção).

Os artigos repetidos foram eliminados, resultando em 22 selecionados. E, após a leitura completa destes 22 artigos selecionados foram adicionados mais 13, citados como referência entre os mesmos.

Destes 35, 22 foram obtidos através da revisão sistemática e serão destacados na análise bibliográfica. Os outros 13 restantes foram adicionados a critério dos autores, encontrados a partir das referências dos 22 artigos anteriores – conforme citado anteriormente – e não serão abordados na análise bibliográfica. As análises realizadas dividiram-se em: análise bibliográfica e de conteúdo.

Através da análise bibliográfica puderam ser obtidas mais informações a respeito do campo de estudos, e através de análise sistemática foram obtidas informações, como: desenvolvimento do assunto ao longo do tempo; países com maior número de publicações.

A análise de conteúdo foi realizada através do plano de ação 5W1H, com o objetivo de organizar e facilitar a análise. Este plano de ação se deu através da aplicação das perguntas evidenciadas no Quadro 1. Este plano, ferramenta de gestão japonesa, possui grande eficácia, apesar de sua simplicidade e auxilia na organização de grandes quantidades de informações.

Tabela 1 - Revisão Sistemática da Literatura

Parâmetros de busca	Número de publicações		
	<i>SCOPUS</i>	<i>ASCE Library</i>	<i>Scielo</i>
Bases de Dados			
Termos de busca	"Construction Waste" e "Quantification" e "Method"		
Campo de busca	Título/Resumo/ Palavras-Chave	Título	Todos os campos
Tipo de publicação	Artigo	Artigo	Artigo
Resultado	33	21	4
Total de publicações	58		
Eliminados por repetição entre as bases	6		
Publicações resultantes	52		
Eliminados por critérios de exclusão	30		
Total da amostra	22		
Adicionados a critério do autor	13		
Total resultante	35		

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 1 - Plano de ação 5W1H

Pergunta	Tradução	Pergunta completa
Why?	Por quê?	Qual o objetivo do artigo?
Who?	Quem?	Quais os dados analisados?
What?	O quê?	Quais os resultados obtidos?
When?	Quando?	Em qual etapa?
Where?	Onde?	Em qual localização?
How?	Como?	Qual o método escolhido?

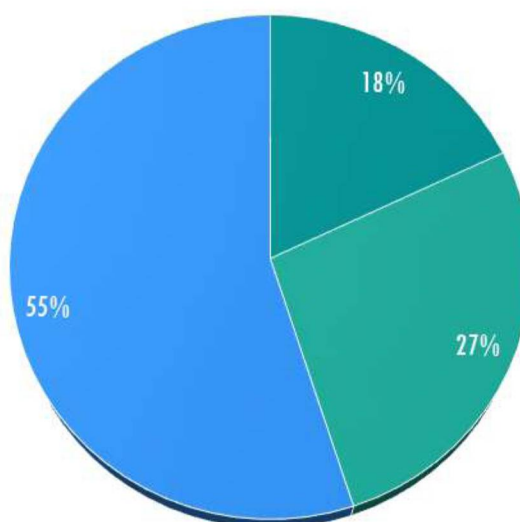
Fonte: Elaborado pela autora.

2.1.1.1.1. Análise de resultados

O Quadro 2 relaciona as publicações encontradas na revisão sistemática através do plano de ação 5W1H. Com o auxílio do plano de ação, foi possível agrupar os artigos encontrados em 3 grandes grupos de tipos de quantificação dos resíduos da construção civil, conforme o método utilizado: Análise estatística; Análise comparativa; Proposição de modelo.

Gráfico 2 - Métodos de quantificação dos resíduos da construção

■ Análise Estatística ■ Análise Comparativa ■ Proposição de modelo



Fonte: Elaborado pela autora.

O Gráfico 2 retrata que a maior parte dos artigos encontrados (55%) concentrou-se em uma proposição de modelo para a quantificação dos resíduos gerados na construção civil. Através do Gráfico 3 pode-se visualizar que grande parte dos estudos focou em analisar a geração de resíduos nas etapas do ciclo de vida de projeto e de obra. Além disso, apenas 9% dos estudos retrataram a quantificação dos resíduos na etapa de demolição. Sendo então a maioria focada somente na etapa de construção da edificação, conforme ilustra o Gráfico 4.

Gráfico 3 - Etapa do ciclo de vida

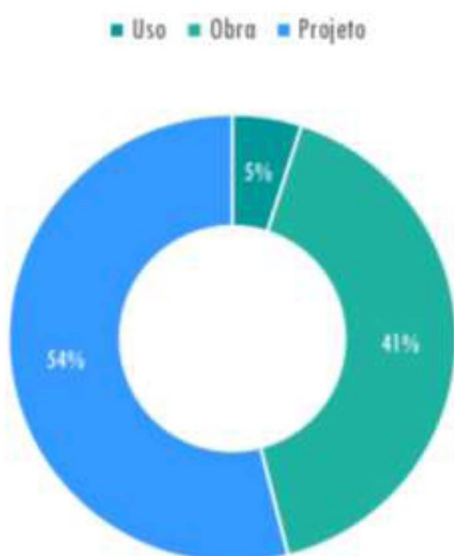
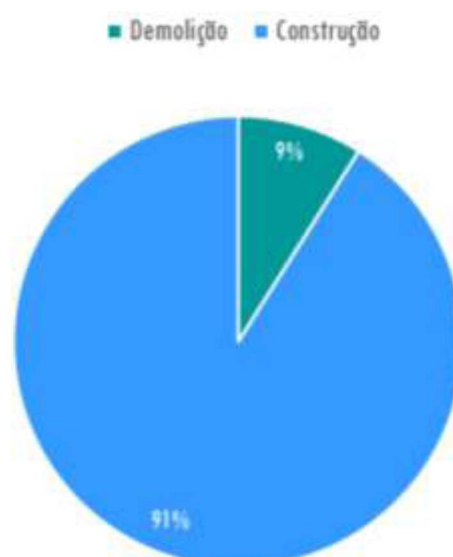


Gráfico 4 - Abordagem principal



Fonte: Elaborados pela autora.

Em relação aos dados analisados os artigos dividiram-se basicamente em três grandes grupos: aqueles que usaram dados de projetos e/ou obras reais através de medição no campo, aqueles que utilizaram dados obtidos na literatura e por fim os que realizaram questionários com os responsáveis pela obra para identificar os aspectos desejados.

Quadro 2 - Resultados Plano de Ação 5W1H

Autor	Ano	Método (How?)	Objetivo (Why?)	Dados analisados (Who?)	Quando (When?)	Onde (Where?)	Resultados (What?)
GAVILAN, R.M.; BERNOLD, L.E.	1994	Proposição de modelo	Estimar a geração de resíduos na etapa de projeto	5 obras de construções residenciais	Durante a obra	E.U.A.	Modelo de estimativa da geração de resíduos
BOSSINK, B.A.G.; BROUWERS, H.J.H.	1996	Avaliação comparativa	Quantificar os resíduos gerados	5 projetos residenciais	Durante a obra	Holanda	% de resíduos gerados
JALALI, S.	2007	Proposição de modelo	Estimar a geração de resíduos na etapa de projeto	Estimativa de canteiros de obras	Projeto	Portugal	Geração de resíduos em m ² ou kg por habitação
GUZMAN, J.M. et al.	2009	Proposição de modelo	Apresentar e detalhar modelo de estimativa da geração de resíduos	100 projetos	Durante a obra	Espanha	Modelo de estimativa da geração de resíduos
HEE SUNG CHA, A.M.; et al.	2009	Proposição de modelo	Auxiliar gerentes de projetos para determinar o nível de desempenho	57 respostas de survey	Durante a obra	Seoul	Identificação dos fatores que reduzem geração de resíduos
WIMALASENA, B.A.D.S.; et al.	2010	Análise estatística	Reduzir o número de variáveis necessárias para o cálculo	Dados encontrados na literatura	Projeto	Mundo	Modelo de estimativa da geração de resíduos
LLATAS, C.	2011	Proposição de modelo	Estimar a geração de resíduos na etapa de projeto	Dados de estudos realizados na Europa	Projeto	Europa	Modelo de estimativa da geração de resíduos
GUZMÁN, A. de B.	2012	Proposição de modelo	Estimar a geração de resíduos na etapa de projeto	Obras de ferrovias	Durante a obra	Espanha	Estimativa de peso e volume
TESSARO, A. B.; et al.	2012	Proposição de modelo	Estimar a geração de resíduos na etapa de projeto	Estudo de caso na cidade de Pelotas	Projeto	Pelotas	Geração de resíduos por m ²
MERCADER-MOYANO; et al.	2013	Proposição de modelo	Estimar a geração de resíduos na etapa de projeto	10 obras residenciais	Durante a obra	Sevilla	Geração de resíduos por m ²
PORRAS, A.C.; et al.	2013	Proposição de modelo	Estimar a geração de resíduos na etapa de projeto	Estudo de caso na cidade de Bogotá	Projeto	Bogotá	Geração de resíduos por m ²

(continua)

Quadro 2 - Resultados Plano de Ação 5W1H (conclusão)

Autor	Ano	Método (How?)	Objetivo (Why?)	Dados analisados (Who?)	Quando (When?)	Onde (Where?)	Resultados (What?)
PERICÓT, N.G. et al.	2014	Avaliação comparativa	Quantificar a geração de resíduos	10 projetos residenciais	Durante a obra	Madrid	kg/m ² ou m ³ /m ² de embalagens produzidas
COSTA, R. V. G. da; et al.	2014	Proposição de modelo	Estimar a geração de resíduos na etapa de projeto	35 obras selecionadas	Durante a obra	João Pessoa	Geração de resíduos por m ²
SÁEZ, P. V. et al.	2015	Análise estatística	Estimativa de geração de resíduos	8 construções realizadas no estilo tradicional mediterrâneo	Durante a obra	Espanha	Geração de resíduos em m ²
BAKSHAN, Amal et al.	2015	Proposição de modelo	Estimativa de geração de resíduos em peso	28 obras de diferentes tipos, tamanhos e em diferentes estágios	Durante a obra	Beirut	Categoriza os resíduos da construção nos principais materiais
KERN, A. et al.	2015	Análise estatística	Quantificação da geração de resíduos por m ²	18 edificações residenciais	Projeto	Brasil	Taxa de geração de resíduos por m ² (m ³ /m ²)
WU, H. et al.	2015	Avaliação comparativa	Avaliar os impactos gerados pelos resíduos da construção	Cidade de Shenzhen, China	Uso	Shenzen	kg CO ₂ equivalentes gerados
LU, Weisheng et al.	2016	Curva S	Indicar a geração acumulada de resíduos na medida do desenvolvimento do projeto	Dados de 138 edificações construídas	Durante a obra	Hong Kong	Resíduos em peso
CARPIO, M. et al.	2016	Análise estatística	Estimar a geração de resíduos em diversas soluções urbanísticas	6 tipos de projetos residenciais	Projeto	Granada	Toneladas de resíduos /m ²
LLATAS, C.; OSMANI, M.	2016	Avaliação comparativa	Criação e validação de modelo de projeto para reduzir o desperdício	20 edificações residenciais	Projeto	Espanha	Medidas para redução do desperdício em obra
WON, J. et al.	2016	Avaliação comparativa	Estimar a quantidade de resíduos	2 projetos	Projeto	Coreia do Sul	% de geração de resíduos
ARSHAD, H. et al.	2017	Avaliação comparativa	Quantificar a geração de resíduos	38 canteiros de obras	Durante a obra	Paquistão	Ranking com % de desperdício dos materiais

Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre os artigos selecionados diversos métodos propostos utilizaram fórmulas e coeficientes próprios para quantificar os resíduos gerados. Nagalli (2012) utiliza fatores relacionados a etapas do processo, controle de qualidade, supervisão e cronograma para estimar de maneira fiel a realidade os resíduos gerados no canteiro de obras.

No entanto, a grande maioria dos métodos estudados (82%), utilizaram a observação e medição em campo para chegar a equações matemáticas simples a partir da multiplicação de um coeficiente para cada tipo de material.

Este coeficiente foi retirado na maioria das vezes da média simples dos valores obtidos de geração de resíduos. As equações matemáticas simples apresentadas nos estudos podem ser resumidas a partir da expressão (1):

$$W = P \times I \quad (1)$$

Onde:

W = Quantidade de resíduos gerados (kg ou m³);

P = Quantidade de material especificado no projeto (kg ou m³);

I = Índice de perdas dos materiais por atividade/aplicação em %.

Diversos estudos trataram de estabelecer valores para estes índices, como: Pinto (1989), Soibelman (1993), Schuette; Liska (1994), Bossink; Brouwers (1996), Agopyan et al. (1998), Souza (1999), Poon et al. (2001), Moyano; Ramirez (2013) e Arshad et al. (2017).

Outros autores, no entanto, buscaram utilizar os coeficientes propostos para estabelecer a geração de resíduos em estudos de caso. Jalali (2007) aplicou dois modelos para cálculo da geração de resíduos: índice por componente e índice global. Llatas (2011) através de resultados de estudos realizados em toda a Europa obteve modelo para estimativa da geração de resíduos de construção e demolição.

Porras et al. (2013) e Costa et al. (2014) propuseram modelos para estimativa da geração de resíduos na etapa de projeto através da análise de obras residenciais com medição em campo dos resíduos gerados. Tessaro et al. (2012) estimam a geração de resíduos por m² a partir da aplicação dos coeficientes.

Pinto (1989), Soibelman (1993), Schuette; Liska (1994), Bossink; Brouwers (1996), Agopyan et al. (1998), Souza (1999), Poon et al. (2001) e Moyano; Ramirez (2013) analisaram dados em campo com medição de valores como peso e volume de resíduos gerados para chegar aos coeficientes.

A Tabela 2 ilustra os índices de perda de cada material de cada estudo científico abordado neste trabalho. Esta tabela, resultado principal da revisão sistemática foi utilizada como base para o desenvolvimento do aplicativo desta dissertação.

Tabela 2 - Coeficientes multiplicadores por tipo de material

Relação		Índice de perdas dos materiais por atividade/aplicação em %								
		PINTO	SOIBELMAN	SCHUETTE, S.D.; LISKA, R.W.	BOSSINK, B.A.G.; BROUWERS, H.J.H.	AGOPYAN et al.	SOUZA	POON, C.S. et al.	MOYANO; RAMIREZ	ARSHAD, H. et al. *
Material	Ano	1989	1993	1994	1996	1998	1999	2001	2013	2017
	País	Brasil	Brasil	E.U.A.	Holanda	Brasil	Brasil	China	Espanha	Paquistão
Bloco cerâmico		12,7	52	-	-	14	27	-	6	-
Bloco concreto		-	-	-	-	11	13	-	8	-
Tijolo cerâmico		-	-	3,5	17,5	7	27	6	6	6,82
Concreto usinado		-	-	7,5	7	9	5	4,5	-	4,39
Aço		-	-	5	21	11	5	4,5	1	4,76
Fôrmas		-	-	10	-	-	-	15	-	-
Alumínio		-	-	-	-	-	-	-	1	4,74
Madeira		-	-	16,5 ¹	32 ²	-	-	-	-	6,41
Fios e cabos		-	-	-	-	-	-	-	1	5,34
Tubos de PVC		-	-	-	-	-	-	-	2	4,95
Pregos		-	-	5	-	-	-	-	-	-
Dry-Wall		-	-	7,5	-	-	-	8	-	-
Argamassa	Ass.	17,3	23,4	-	9,2	40	10	12	-	-
	Emb.	17,3	23,4	-	9,2	32	11	12	-	-
	Chap.	17,3	23,4	-	9,2	21,5	-	12	-	-
	Reb.	17,3	11	3,5	9,2	13	-	12	-	6,63
	Cont.	17,3	23,4	-	-	41,5	5	12	-	-
Tinta	Ext.	-	-	-	-	15	-	12	-	-
	Int.	-	-	-	-	23	3	12	-	6
Revest.	Parede	9,5	-	-	-	13	14	7	6	5,51
	Piso	7,5	-	6,5	8	19	14	7	6	6,68
Papel de parede		-	-	10	-	-	-	-	-	-
Gesso		-	-	-	-	30	30	-	-	-
Vidro		-	-	-	-	-	-	-	2	4,92
Mármore e granitos		-	-	-	-	-	-	-	-	4,37
* Resultados obtidos através de questionário										
^{1,2} Eliminados devido à diferenças dos métodos construtivos										

Fonte: Elaborado pela autora.

2.2 BIM E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO

O estudo das aplicações da Modelagem da Informação da Construção no desenvolvimento de projetos e execução de obras é muito amplo.

No entanto, poucos estudos foram realizados para promover a integração entre BIM e gerenciamento de resíduos da construção. Com o objetivo de determinar o estado da arte dos estudos sobre BIM e gerenciamento de resíduos da construção e demolição foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura. Pretendeu-se com a mesma avaliar quais ferramentas foram desenvolvidas e para qual etapa do ciclo de vida das edificações elas foram aplicadas.

2.2.1. Revisão sistemática da literatura

2.2.1.1.1. Condução da Revisão Sistemática

A revisão sistemática da literatura foi realizada conforme o protocolo do Apêndice B. Foram selecionadas três bases de dados científicas para a realização da pesquisa, sendo elas: Scopus, ASCE Library e Compendex.

Com o objetivo de determinar a abrangência de pesquisas sobre o assunto primeiramente foram buscados separadamente os seguintes termos: “BIM” e “construction waste”. A partir da Tabela 3, verifica-se a abrangência dos estudos a respeito de BIM, e ao mesmo tempo a limitação em relação aos estudos a respeito dos resíduos da construção civil. Apenas 0,45% do total de publicações encontradas refere-se à utilização do BIM sob o aspecto da geração de resíduos.

A revisão sistemática adotou dessa forma a combinação dos 2 (dois) termos estudados. Foram encontrados um total de 104 artigos nas 3 bases de dados pesquisadas.

Tabela 3 - Resultados da busca por palavras-chave

Palavras-chave	Número de publicações		
	SCOPUS	ASCE Library	Compendex
BIM	13871	1781	7543
BIM and construction waste	29	54	21

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram selecionados para o estudo apenas artigos publicados em periódicos (42), e posteriormente, após eliminação por repetição nas bases (7) e leitura dos resumos (13), obteve-se um total de 22 artigos lidos de maneira integral, conforme indica a Tabela 4.

Tabela 4 - Condução da revisão sistemática

Parâmetros de busca	Número de publicações		
Bases de Dados	SCOPUS	ASCE Library	Compendex
Termos de busca	"BIM" e "Construction Waste"		
Campo de busca	Título/Resumo/Palavras-Chave	Título	Todos os campos
Tipo de publicação	Artigo	Artigo	Artigo
Resultado	15	17	10
Total de publicações	42		
Eliminados por repetição entre as bases	7		
Publicações resultantes	35		
Eliminados após leitura dos resumos	13		
Total da amostra	22		

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 3 reúne os artigos encontrados na revisão sistemática da literatura. Estes estudos foram classificados conforme os objetivos a serem atingidos.

Dentre os estudos encontrados alguns dizem respeito ao desenvolvimento de métodos e/ou ferramentas computacionais para a melhoria da gestão dos resíduos da construção.

Quadro 3 - Resultado da revisão sistemática da literatura

	Ano	Título	Autores	País	Objetivo	Etapa do Ciclo de Vida
1	2012	Building Information Modeling–Based Analysis to Minimize Waste Rate of Structural Reinforcement	Porwal, A., Hewage, K. N.	Canadá	Desenvolvimento de métodos	Projeto
2	2014	Improving Environmental and Production Performance in Construction Projects Using Value-Stream Mapping: Case Study	Rosenbaum, S.; Toletto, M., González, V.	Chile	Desenvolvimento de ferramentas	Projeto
3	2014	Life Cycle Asset Management Methodologies for Buildings	Grussing, M.N.	EUA	Desenvolvimento de métodos	Projeto
4	2014	Design and Construction for Sustainable Industrial Construction	Yates, J. K.	EUA	Revisão da Literatura	Projeto
5	2015	Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data	Bilal, M., et al.	Reino Unido	Revisão da Literatura e Questionário	Projeto
6	2015	A BIM-aided construction waste minimization framework	Liu, Z., Osmani, et al.	Reino Unido	Revisão da Literatura e Questionário	Projeto
7	2015	Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements	Ajayi, S.O., et al.	Reino Unido	Revisão da Literatura	Projeto
8	2016	Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework	Bilal, M., et al.	Reino Unido	Desenvolvimento de métodos	Projeto
9	2016	Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea	Won, J., et al.	Hong Kong	Desenvolvimento de métodos	Projeto
10	2016	Application of structural building information modeling (S-BIM) for sustainable buildings design and waste reduction: A review	Umar, U.A., et al.	Malásia	Revisão da Literatura	Projeto
11	2016	Evaluation criteria for construction waste management tools: Towards a holistic BIM framework	Akinade, O.O., et al.	Reino Unido	Revisão da Literatura	Projeto
12	2017	Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study	Ge, X.J., et al.	Austrália	Desenvolvimento de ferramentas	Demolição

(continua)

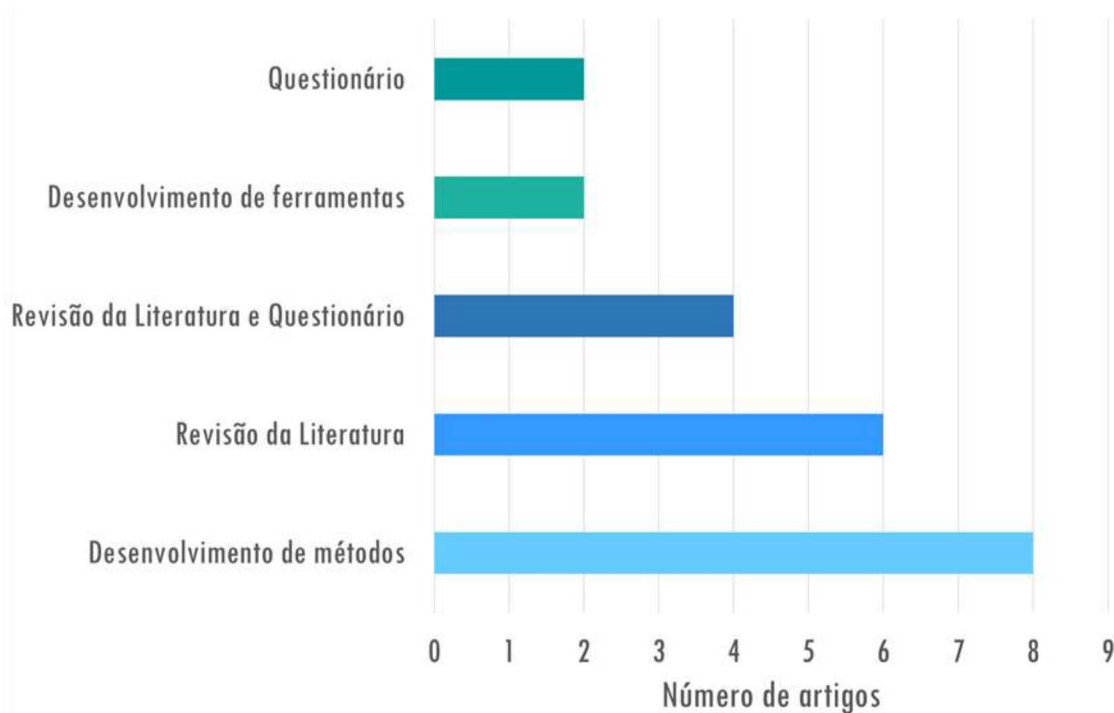
Quadro 3 - Resultado da revisão sistemática da literatura (conclusão)

	Ano	Título	Autores	País	Objetivo	Etapa do Ciclo de Vida
13	2017	Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling	Alwan, Z., et al.	Reino Unido	Desenvolvimento de métodos	Projeto
14	2017	Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality	Lu, Weisheng, et al.	Hong Kong	Revisão da Literatura	Projeto
15	2017	Attributes of design for construction waste minimization: A case study of waste-to-energy project	Ajayi, Saheed O., et al.	Reino Unido	Questionário	Projeto
16	2018	The hindrance to using prefabrication in Hong Kong's building industry	Zhang, W., et al.	Hong Kong	Questionário	Fabricação dos Materiais
17	2018	Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefinished volumetric construction	Hwang, B.-G., et al.	Cingapura	Revisão da Literatura e Questionário	Fabricação dos Materiais
18	2018	Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment	Akinade, O.O., et al.	Reino Unido	Revisão da Literatura e Questionário	Projeto
19	2018	Integration of parametric design into modular coordination: A construction waste reduction workflow	Banihashemi, S., et al.	Austrália	Desenvolvimento de métodos	Projeto
20	2019	BIM-based automated construction waste estimation algorithms: The case of concrete and drywall waste streams	Guerra, B.C., et al.	EUA	Desenvolvimento de métodos	Projeto
21	2019	Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM)	Jalaei, F., Zoghi, M., Khoshand, A.	Canadá	Desenvolvimento de métodos	Projeto
22	2019	Building information modelling for off-site construction: Review and future directions	Yin, Xianfei, et al.	Canadá	Revisão da Literatura	Fabricação dos materiais

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da revisão sistemática da literatura pode-se avaliar o estágio de desenvolvimento de métodos e ferramentas aplicado ao gerenciamento de resíduos com BIM. O Gráfico 5 ilustra que a grande parte dos artigos publicados se remete ao desenvolvimento de métodos propriamente ditos o que demonstra a atualidade do tema.

Gráfico 5 - Número de artigos por método



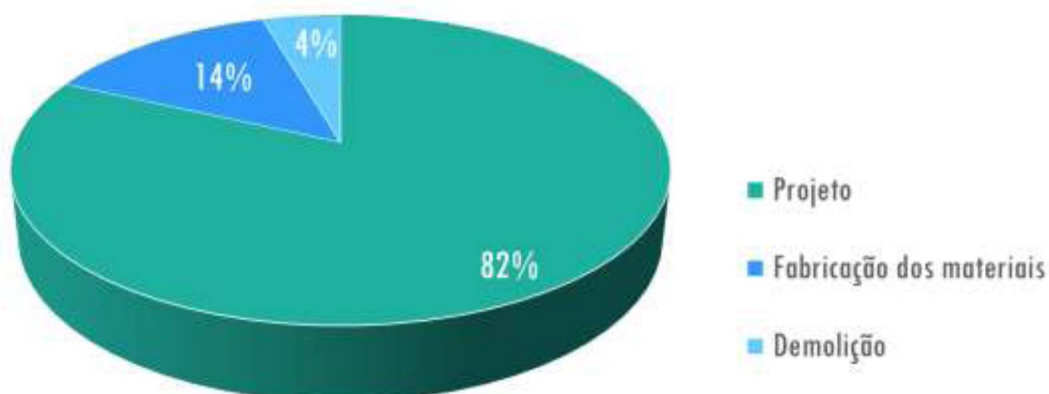
Fonte: Elaborado pela autora.

E, conforme pode-se verificar no Gráfico 6, a maior parte do desenvolvimento se baseia na redução da geração de resíduos na fase de projeto.

Além disso, através desta revisão sistemática, pode-se verificar que ainda não houve estudo que abordasse exatamente o mesmo objetivo presente neste trabalho: o de desenvolver um método automatizado para gestão dos resíduos da construção e para facilitar a etapa de documentação de projeto.

Assim evidencia-se o preenchimento de uma lacuna científica no desenvolvimento deste trabalho.

Gráfico 6 - Porcentagem de artigos por etapa do ciclo de vida



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da revisão sistemática pode-se concluir que um aplicativo baseado em BIM que tenha por objetivo o gerenciamento dos resíduos da construção e demolição durante todo o ciclo de vida de uma edificação deve ser capaz de:

- Quantificar os resíduos que serão gerados na construção e demolição, durante a etapa de projeto; e,
- Elaborar relatórios de geração de resíduos ao longo da construção e demolição da edificação com o objetivo de proporcionar ao gerente de projetos mais recursos para separar e planejar o reuso e a reciclagem destes materiais.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH

Pesquisas com o objetivo de estudar o projeto, a concepção ou mesmo a resolução de problemas reais não conseguem se sustentar exclusivamente com o paradigma das ciências naturais e sociais (DRESCH et al., 2015). A partir desse questionamento, em diversas áreas do conhecimento, como engenharia, arquitetura e gestão, surgiu um novo paradigma epistemológico para a condução de pesquisas, chamado *Design Science*.

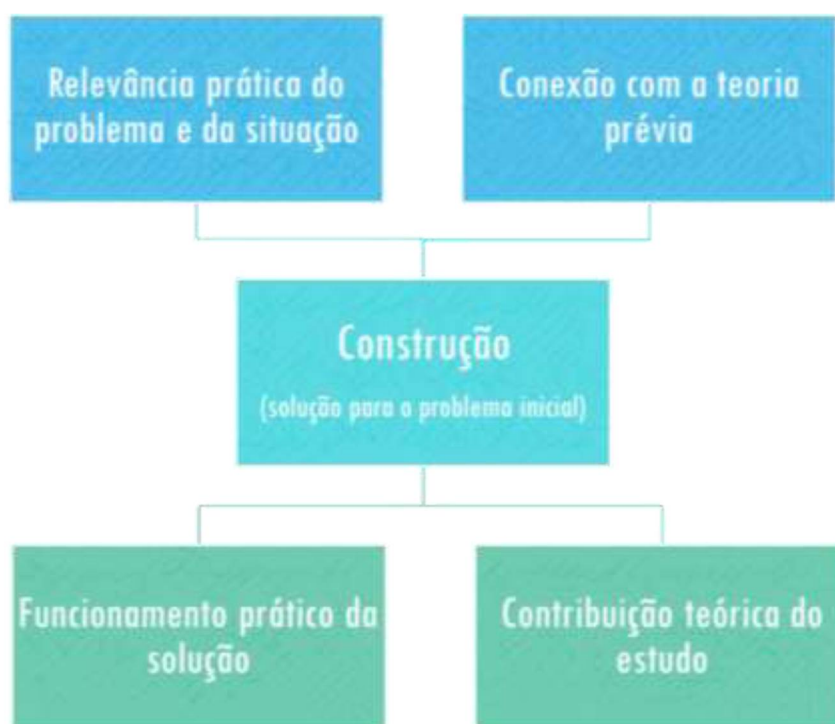
A *Design Science*, ciência do projeto ou do artificial, se dedica a propor formas de criar artefatos que tenham certas propriedades (SIMON, 1996).

O presente trabalho refere-se a uma pesquisa a respeito dos desperdícios na construção civil, relacionados aos resíduos da construção civil, e visa propor um método com uso de um aplicativo para estimar esses resíduos na fase de projeto.

Logo, trata-se de uma pesquisa que propõe criar um novo processo capaz de lidar com um problema real. Por essa razão adotou-se a *Design Science Research* ou "Ciência do Projeto", também denominada *Constructive Research*.

Lukka (2003) apresenta os principais elementos dessa abordagem metodológica para a *Constructive Research* como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Elementos Principais da Constructive Research



Fonte: Adaptado de Lukka (2003).

Esses elementos consistem em: (i) enfatizar os problemas do mundo real que possuam relevância para serem solucionados na prática; e (ii) conectar-se a um conhecimento teórico prévio; para (iii) produzir uma construção inovadora que solucione o problema inicial definido; que resulte (iv) no funcionamento prático da solução, a partir da tentativa de implementação da construção desenvolvida; e (v) na contribuição teórica do estudo, a partir das descobertas empíricas realizadas (LUKKA, 2003).

Para o caso deste trabalho pode-se definir os elementos dados por (LUKKA, 2003) como:

- (i) PROBLEMA DO MUNDO REAL: dificuldade na obtenção de dados para uma estimativa da geração de resíduos adequada;
- (ii) CONHECIMENTO TEÓRICO PRÉVIO: revisões sistemáticas da literatura realizadas para definição do estado-da-arte do conhecimento;
- (iii) CONSTRUÇÃO INOVADORA: aplicativo desenvolvido;
- (iv) FUNCIONAMENTO PRÁTICO: implementação do aplicativo;
- (v) CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA: resultados obtidos através da validação do aplicativo e do próprio método de solução adotado.

Tendo em vista o contexto apresentado e os itens enumerados acima, justifica-se a escolha da DSR para o presente trabalho por três motivos: o tipo do problema abordado, o caráter da pesquisa a ser desenvolvida e o tipo do resultado pretendido.

O tipo do problema abordado é real e possui relevância para ser solucionado na prática, como explicitado no Capítulo 1 - Introdução.

O caráter da pesquisa a ser desenvolvida é de inovação tecnológica, por fazer uso da Modelagem da Informação da Construção e buscar melhorias de processo com uso de tecnologias de informação.

O tipo do resultado pretendido consiste na proposição e construção de um artefato, um método de quantificação automática com uso de um aplicativo, para a resolução do problema.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A partir do objetivo apresentado - prescrever um método para quantificar os resíduos sólidos da construção civil de forma automática, baseada em uma Interface de Programação de Aplicativo (API) integrada ao BIM e incorporada ao conceito de economia circular – foi adotado o delineamento exibido na Figura 5.

A seguir, é apresentado o detalhamento das etapas do delineamento metodológico, apropriando-se para a pesquisa de mestrado em questão.

3.2.1. Identificação do problema

O problema de pesquisa identificado foi apresentado no **Capítulo 1 – Introdução** desta dissertação, e pode ser expresso nas questões de pesquisa apresentadas.

3.2.2. Conscientização do problema

A conscientização do problema foi realizada mediante análise exploratória realizada através de duas Revisões Sistemáticas da Literatura e um questionário aplicado entre profissionais da indústria AEC.

3.2.3. Revisão Sistemática da Literatura

A Revisão Sistemática da Literatura é um mecanismo para identificar, avaliar e interpretar, com rigor científico, toda pesquisa relevante e disponível relativa a uma determinada questão, tópico ou fenômeno de interesse específico (KITCHENHAM, 2004).

Seu emprego nessa pesquisa representou uma etapa do delineamento da DSR proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

Neste contexto foram realizadas duas revisões de literatura, com os objetivos estruturados no **Capítulo 2**. Sendo que os temas centrais foram:

- (i) Métodos de quantificação dos resíduos gerados na construção;
- (ii) Integração entre BIM e gerenciamento dos resíduos da construção.

Foi empregado, em ambos os tópicos, um protocolo de busca fundamentado em Kitchenham (2004), que discrimina: objetivos; questões de pesquisa; critérios restritivos de busca; termos de busca; listagem de bases de dados consultadas; tipo e idioma das fontes; critérios de inclusão, exclusão e qualidade; explanação do processo de seleção da fontes; estratégias de extração da informação; e, sumarização dos resultados.

3.2.4. Questionário com profissionais

Com o objetivo de identificar a real necessidade da pesquisa e a conscientização do problema foi realizado um questionário com profissionais da AEC, conforme ilustrado no **Capítulo 4**.

3.2.5. Estrutura conceitual

Após a conscientização do problema o aplicativo foi estruturado conceitualmente através de um diagrama ilustrado na **Figura 6 – Capítulo 5**.

3.2.6. Desenvolvimento do artefato

O artefato (aplicativo) foi então desenvolvido e para tanto foi necessário escolher o método de programação mais adequado, conforme **Capítulo 5**.

Figura 5 - Delineamento da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.7. Aplicação do artefato

Após o desenvolvimento, o mesmo foi aplicado na quantificação dos resíduos gerados na construção de uma edificação através de 3 (três) diferentes métodos construtivos, conforme o **Capítulo 6**.

3.2.8. Conclusão e aprendizagens

Após a aplicação do mesmo, **Capítulo 6**, pode-se relatar as conclusões e aprendizagens. Além disso puderam ser incluídos novas modificações decorrentes destas aplicações possibilitando a generalização do mesmo para novos problemas.

3.2.9. Generalização do artefato

Com a generalização do artefato pode-se dizer que a pesquisa pode ser entendida como concluída com sucesso, conforme o relato de resultados exposto no **Capítulo 7**.

4 QUESTIONÁRIO

Visando validar e proporcionar um maior entendimento do problema a ser resolvido por este estudo realizou-se um questionário aplicado a dois diferentes grupos de profissionais da indústria de arquitetura, engenharia e construção.

Escolheu-se entrevistar profissionais atuantes na indústria justamente para que fosse possível entender a realidade atual tanto científica, através das revisões sistemáticas da literatura, quanto da indústria através deste questionário.

Neste questionário foi possível determinar o nível de conhecimento e prática atual a respeito do gerenciamento de resíduos da construção civil e dos processos BIM por esses profissionais. Além disso, foi avaliado como esses profissionais acreditam que uma quantificação na fase de projeto refletirá na redução e mitigação desses resíduos.

O questionário foi realizado de maneira online, a partir de formulário elaborado no Google Forms. O questionário foi aplicado no ano de 2018 com profissionais da área de engenharia e arquitetura, conforme descrito a seguir. Sua estrutura encontra-se apresentada no Apêndice C, esta estrutura foi baseada em O'Reilly (2012). Neste artigo o autor desenvolveu uma análise qualitativa através de questionário para arquitetos e engenheiros do Reino Unido com o mesmo objetivo proposto.

4.1 REALIDADE REGIONAL

O primeiro público alvo do questionário foram engenheiros e arquitetos atuantes nas fases de projeto, planejamento e execução de obras civis em geral. Com o objetivo de explorar a realidade regional, o questionário foi enviado por e-mail para 55 empresas da região de Curitiba, capital do Estado do Paraná. As empresas entrevistadas incluíram empresas de engenharia e arquitetura que realizam projetos e/ou acompanham a execução de obras. Este universo de pesquisa foi definido com o objetivo de abranger o maior número de profissionais possíveis na cidade de Curitiba. As empresas foram buscadas através do site Google, utilizando as palavras-chave: “empresa de engenharia” e “Curitiba”; “construtora” e “Curitiba”; “escritório de arquitetura” e “Curitiba”; “escritório de projetos” e “Curitiba”; “projetos em BIM” e “Curitiba”.

As perguntas dividiram-se entre aspectos como: utilização do BIM, quantificação dos resíduos da construção, noções a respeito da geração de resíduos e barreiras para implantação.

Identificação dos respondentes

O número de respostas obtidas foi 46. Deste total, 29 foram Engenheiros Civis, 5 Arquitetos e 1 Consultor em Tecnologia BIM. Os 11 restantes foram outros profissionais relacionados à projetos, execução e acompanhamento de empreendimentos de engenharia e arquitetura.

39,1% dos respondentes trabalham em escritórios de projetos, enquanto 37% trabalham em construtoras. A grande maioria das empresas nas quais os profissionais trabalham podem ser consideradas como pequenas empresas, visto que o número de funcionários indicado em 54,8% das respostas foi entre 1 e 10.

Utilização do BIM

Na pergunta que correspondia à utilização de BIM nos projetos em que atua, metade dos entrevistados respondeu que utiliza. Em relação à autoavaliação do conhecimento a respeito de BIM, a maioria dos respondentes avaliou seu conhecimento como básico (37%), seguido por intermediário (34,8%), avançado (19,6%) e desconhecimento do BIM (8,7% ou 4 respostas).

Para correta análise das próximas respostas do questionário foram então desconsiderados aqueles respondentes que alegaram desconhecer o BIM, resultando então em 42 respostas válidas.

Grande parte dos respondentes (41 entre 42 – 97,6%) acredita que o BIM possa ser utilizado como um processo para redução dos resíduos gerados na construção. 40 respondentes (95,2%) acreditam que o arquiteto e/ou engenheiro projetista têm papel significativo na possibilidade de redução dos resíduos gerados.

Quantificação dos resíduos da construção

31 (73,8%) acreditam que quantificar os resíduos gerados na construção, durante o projeto, pode ajudar a reduzi-los de maneira geral, enquanto os 11 restantes (26,2%) acreditam que essa redução poderia não acontecer.

A pergunta seguinte foi em qual medida ocorreria essa redução. Metade dos respondentes acredita que esta redução se dará em média proporção.

Em relação à consideração da geração de resíduos no último projeto realizado, 33 (78,6%) responderam que esta não foi considerada. No entanto foi surpreendente verificar que 9 dos 42 respondentes (21,4%) já consideraram esse aspecto em seus últimos projetos. No questionário não foi avaliado como os respondentes consideraram a geração de resíduos.

Noções a respeito da geração de resíduos

Com o objetivo de avaliar como está o conhecimento em relação à geração de resíduos dos profissionais de engenharia e arquitetura, foi pedido para que os

profissionais classificassem os sistemas de estruturas e de vedação conforme a geração de resíduos. A escala utilizada para tal avaliação consistiu em números de 1 a 5, em que 5 significava um sistema com alta geração de resíduos e 1 um sistema com baixa geração dos mesmos.

Os sistemas avaliados foram:

- Estrutural: metálica, concreto armado, concreto pré-moldado; e,
- Vedação: dry-wall, alvenaria convencional, wood-framing e alvenaria estrutural.

A Tabela 5 indica o número de respostas referente à cada número da escala para os sistemas estruturais.

Tabela 5 - Avaliação quanto à geração de resíduos dos sistemas estruturais

Sistemas estruturais	1	2	3	4	5
Metálica	19	13	9	0	1
Concreto-armado	2	2	6	7	25
Concreto pré-moldado	8	14	14	6	0

Fonte: Elaborado pela autora.

Para os sistemas de vedação os resultados são ilustrados na Tabela 6. A partir das tabelas e gráficos verifica-se que o nível de conhecimento em relação à geração de resíduos dos sistemas está de acordo.

Os sistemas estruturais foram classificados conforme a geração de resíduos na seguinte ordem: concreto armado, concreto pré-moldado e estrutura metálica (do sistema que gera mais resíduos para aquele que gera menos).

Por outro lado, os sistemas de vedação foram classificados na seguinte ordem: alvenaria convencional, alvenaria estrutural, wood framing e dry-wall.

Tabela 6 - Avaliação quanto à geração de resíduos dos sistemas de vedação

Sistemas de vedação	1	2	3	4	5
Dry-wall	5	13	16	4	4
Alvenaria convencional	0	2	5	12	23
Wood Framing	6	12	15	9	0
Alvenaria estrutural	0	8	11	18	5

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à em quais etapas do projeto a geração de resíduos deveria ser considerada, as respostas se mostraram equilibradas no sentido de que este aspecto deveria ser considerado em todas as fases: estudo preliminar, anteprojeto, projeto legal e projeto executivo.

Barreiras para implantação

Com o objetivo de determinar quais as principais barreiras que impedem que um gerenciamento adequado dos resíduos da construção, foi pedido que os respondentes classificassem novamente em uma escala de 1-5 as barreiras, sendo com nota 5 aquelas mais impactantes.

A Tabela 7 ilustra os resultados obtidos. Segundo os respondentes a barreira mais impactante é o próprio aspecto cultural do setor da construção civil, seguido pela falta de incentivos financeiros e na dificuldade da obtenção de dados de geração de resíduos.

Tabela 7 - Avaliação das barreiras no gerenciamento de resíduos

Barreiras	1	2	3	4	5
Preocupação com outros aspectos do projeto	3	7	13	9	10
Falta de incentivos financeiros	4	7	8	11	12
Falta de legislação	7	9	10	10	6
Restrição de tempo	4	8	11	14	5
Dados de geração de resíduos são muito difíceis de se obter	2	8	10	11	11
Falta de motivação pessoal	4	7	14	13	4
Cultura do setor	1	1	7	12	21

Fonte: Elaborado pela autora.

Aplicativo BIM

A última pergunta feita no questionário foi em relação à aplicação de um plug-in em software BIM para gerenciamento dos resíduos da construção. 85% dos respondentes avaliaram que um plug-in que extraísse do modelo os quantitativos de geração de resíduos, ao longo do cronograma da obra, poderia sim reduzir a geração dos mesmos de maneira geral.

4.2 REALIDADE ESPECÍFICA

Com o objetivo de verificar a realidade específica de profissionais e empresas que trabalham com processos construtivos diferenciados, como: *wood-frame* e *light-steel frame*, foram entrevistados profissionais de cada uma das empresas listadas abaixo.

- Empresa A: empresa criada em 2011, com mais de 100 funcionários, trabalha com o sistema *light-steel frame* na região de Ponta-Grossa e Curitiba, ambas no Paraná.
- Empresa B: empresa fundada em 2009, com mais de 100 funcionários, focada na construção industrializada utilizando sistema construtivo *wood-frame*. Possui projetos e obras em diversas regiões do país.
- Empresa C: empresa fundada em 2018, com 1 a 10 funcionários, trabalha com sistema construtivo *wood-frame* na região de Curitiba.

Foram entrevistados 2 colaboradores da empresa Empresa A, 1 colaborador da Empresa B e 1 da Empresa C.

O questionário aplicado foi o mesmo apresentado anteriormente e disponível no Apêndice C.

Utilização do BIM

Na pergunta que correspondia à utilização de BIM nos projetos em que atua, todos os entrevistados responderam que utilizam. Em relação à auto-avaliação do conhecimento a respeito de BIM, metade deles avaliou o conhecimento como avançado.

Todos os respondentes acreditam que o BIM possa ser utilizado como um processo para redução dos resíduos gerados na construção. Assim como todos acreditam que o arquiteto e/ou engenheiro projetista têm papel significativo na possibilidade de redução dos resíduos gerados.

Quantificação dos resíduos da construção

Todos os respondentes acreditam que quantificar os resíduos gerados na construção, durante o projeto, pode ajudar a reduzi-los de maneira geral.

A pergunta seguinte foi então sobre em qual medida ocorreria essa redução, todos responderam que acreditavam que seria num nível entre alto e muito alto.

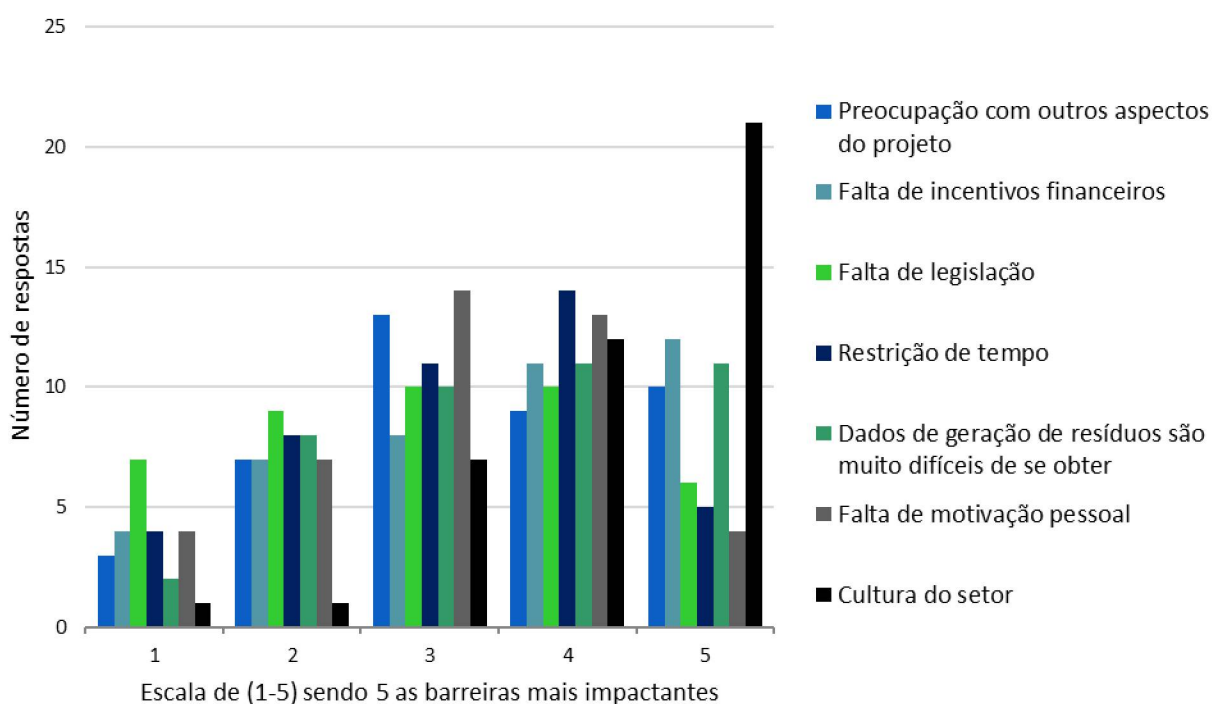
Em relação à consideração da geração de resíduos no último projeto realizado, todos responderam que a mesma foi considerada.

Em relação à em quais etapas do projeto a geração de resíduos deveria ser considerada, foram assinaladas por todos os respondentes as etapas correspondentes ao: estudo preliminar, anteprojeto, projeto legal e projeto executivo. Sendo que todos eles assinalaram a etapa projeto executivo – demonstrando a importância desta etapa.

Barreiras para implantação

Em relação às barreiras de implantação de um gerenciamento dos resíduos, foi pedido que os respondentes classificassem novamente em uma escala de 1-5 as barreiras, sendo com nota 5 aquelas mais impactante, assim como no questionário anterior. O Gráfico 7 ilustra os resultados obtidos a partir das notas de cada barreira. Segundo os respondentes as barreiras mais impactantes são: falta de incentivos financeiros, falta de legislação adequada, restrições de tempo no projeto e barreira cultural do setor da construção.

Gráfico 7 - Barreiras mais impactantes na gestão dos resíduos



Fonte: Elaborado pela autora.

Aplicativo BIM

A última pergunta feita no questionário foi em relação à aplicação de um plug-in em software BIM para gerenciamento dos resíduos da construção. 3 dos 4 dos respondentes avaliaram que um plug-in que extraísse do modelo os quantitativos de geração de resíduos, ao longo do cronograma da obra, poderia sim reduzir a geração dos mesmos de maneira geral.

Assim como o estudo realizado por O'Reilly (2012), este estudo evidenciou a potencial aplicação do BIM como ferramenta para redução de geração de resíduos. A principal característica que determinou este resultado foi a possibilidade de se obter informações a respeito dos resíduos durante a etapa de projeto, proporcionando aos arquitetos e engenheiros a tomada de decisões com base em informações.

A partir do estudo pode-se também verificar que as estratégias de gerenciamento e minimização dos resíduos devem ser consideradas de maneira holística, ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.

Verificou-se também que os arquitetos e engenheiros apresentam boa percepção em relação à geração de resíduos e entendem sua responsabilidade sob este aspecto, no entanto, são outras as barreiras que restringem a capacidade de redução.

As principais barreiras identificadas, como: falta de incentivos financeiros, dados de geração muito difíceis de obter e barreira cultural do setor, poderiam ser vencidas através do desenvolvimento de uma ferramenta capaz de quantificar a geração de resíduos na etapa de projeto.

Como conclusão do levantamento bibliográfico e do questionário desenvolvido, foi possível perceber que um aplicativo integrado a modelos BIM que tenha como resultado uma estimativa detalhada da geração de resíduos no projeto, e que seja capaz de extrair por material o volume de resíduos, pode reduzir significativamente o volume de resíduos gerados.

5 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do aplicativo foi baseado nos conceitos de construção enxuta e economia circular.

O conceito de construção enxuta foi aplicado no sentido de que a utilização do aplicativo incentiva a redução dos desperdícios em obra e, portanto, uma otimização dos processos.

Por sua vez, o conceito de economia circular auxiliou na busca do objetivo geral do método. Uma vez que se tenha uma relação dos resíduos a serem gerados nos canteiros de obras é possível planejar a destinação dos mesmos e permitir que se tenham cada vez menos materiais sendo destinados aos aterros e mais materiais sendo reusados e reaproveitados.

O desenvolvimento do aplicativo foi realizado através de três etapas, descritas a seguir, foram elas:

- Elaboração da estrutura conceitual;
- Programação do aplicativo;
- Validação do aplicativo.

5.1 ESTRUTURA CONCEITUAL

A partir do referencial conceitual, obtido das revisões sistemáticas, e da pesquisa por questionários, pode-se colocar que um aplicativo que utiliza dados contidos em modelos BIM, e que tenha por objetivo o gerenciamento dos resíduos da construção e demolição, durante todo o ciclo de vida de uma edificação, deve ser capaz de realizar duas funções, são elas:

- quantificar os resíduos que serão gerados na construção e demolição, durante a etapa de projeto;
- elaborar relatórios de geração de resíduos ao longo da construção e demolição da edificação com o objetivo de proporcionar mais recursos para separar e planejar o reuso e a reciclagem destes materiais.

Com as considerações tomadas acima, realizadas através do texto descrito nos Capítulos 2 e 4, foi possível elaborar a estrutura conceitual de um aplicativo ideal.

A estrutura destas funções e aplicações pode ser explicada através do diagrama proposto na Figura 6. E, pode ser dividida em três diferentes etapas:

❖ Otimização do projeto

A partir do projeto BIM finalizado pelo arquiteto e/ou engenheiro projetista, o aplicativo pode ser executado de forma a emitir resultados a respeito da geração de resíduos do projeto. Dessa forma, é possível verificar se o desempenho é igual, maior ou menor ao esperado e realizar as alterações necessárias para que o projeto seja otimizado.

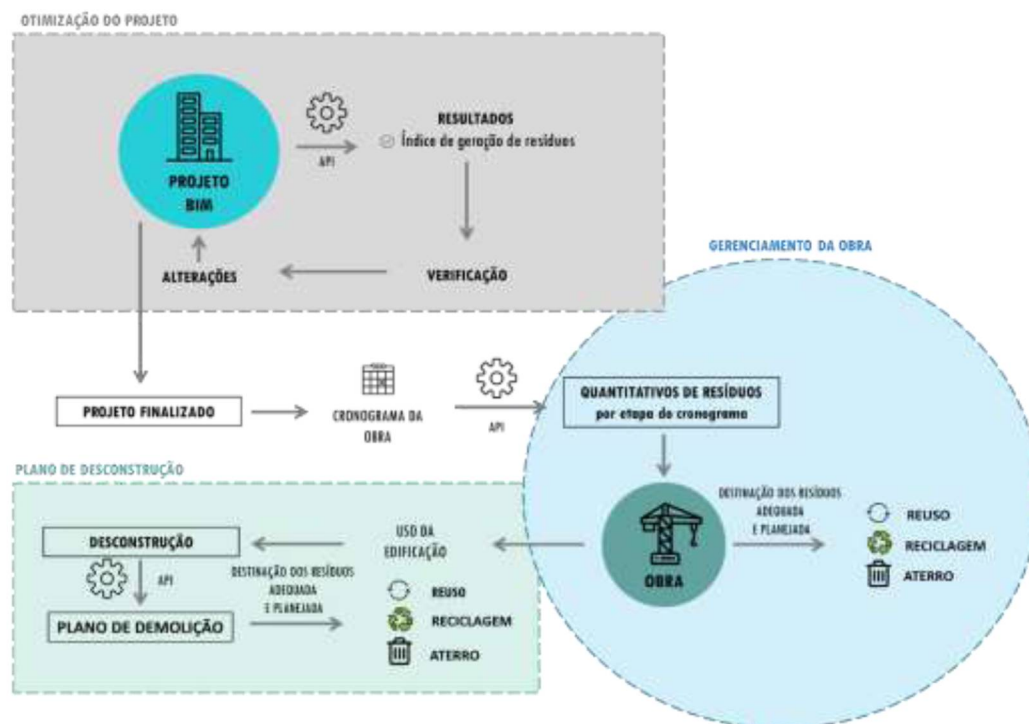
❖ Gerenciamento da obra

Uma vez que o projeto esteja finalizado, com o desempenho ideal ao esperado, o cronograma de obra pode ser inserido, e o aplicativo calcula o quantitativo de resíduos gerado por etapa do cronograma. Este quantitativo pode ser usado para emitir um relatório sobre os resíduos que serão reciclados e/ou reusados, garantindo um melhor planejamento para o construtor.

❖ Plano de desconstrução

Após o fim da vida útil do edifício sua desconstrução pode ser programada. A partir dos resultados da 3ª etapa do aplicativo é possível obter um plano de demolição. Este plano pode ajudar a garantir uma destinação adequada para cada material (planejada desde a etapa de projeto).

Figura 6 - Estrutura conceitual de um aplicativo BIM para o gerenciamento dos RCD



Fonte: Elaborado pela autora.

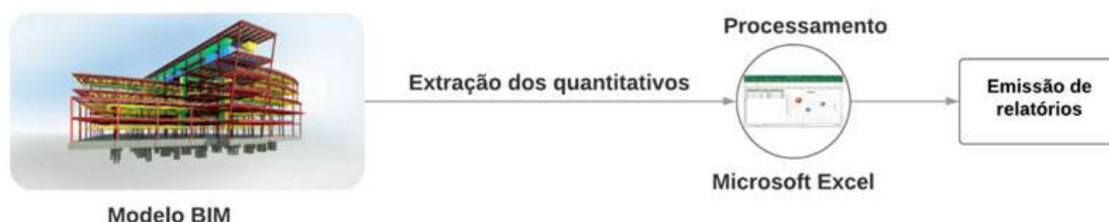
O aplicativo desenvolvido leva o nome de “Waste BIM”. União dos termos *waste* (resíduos em inglês) e a abreviação *BIM* (*Building Information Modeling* – modelagem da informação da construção em inglês).

5.2 PROGRAMAÇÃO

Como um passo posterior ao desenvolvimento da estrutura conceitual, fez-se necessário o estudo dos diversos métodos de programação de aplicações dentro de sistemas de autoria BIM, como o Revit® da empresa Autodesk e o Archicad® da empresa Graphisoft. Sistemas de modelagem BIM como esses possuem mecanismos próprios para o desenvolvimento de plug-ins (que podem ser entendidos como programas desenvolvidos para uso dentro do ambiente de um sistema ou programa) e aplicativos.

Para este estudo foi escolhido adotar um método de programação que pudesse ser facilmente adaptável aos mais diversos softwares BIM de modelagem. Para manter a independência e a agilidade no uso, bem como a interoperabilidade, inclusive entre versões do mesmo software, o principal núcleo de processamento de dados e cálculos foi programado para ser executado externamente aos softwares BIM, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 - Integração entre aplicativo e softwares BIM



Fonte: Elaborado pela autora.

Este distanciamento do software BIM permite que o aplicativo seja facilmente adaptável a vários softwares de modelagem e/ou outras versões além de conferir maior agilidade e independência de uso de um sistema BIM para a atualização de dados relativos ao gerenciamento cotidiano de resíduos no andamento da construção. Nos possíveis ciclos de melhoria durante a fase de construção, o modelo BIM pode e deve ser atualizado em tempo ideal, quando necessário ou desejado.

O aplicativo desenvolvido neste trabalho foi idealizado para utilizar dados provenientes de um modelo BIM modelado no software Revit® da Autodesk. Como visto, na Figura 7 se ilustra a estrutura de processamento do aplicativo que é composta por três grandes grupos: extração de quantitativos, processamento e emissão de relatórios.

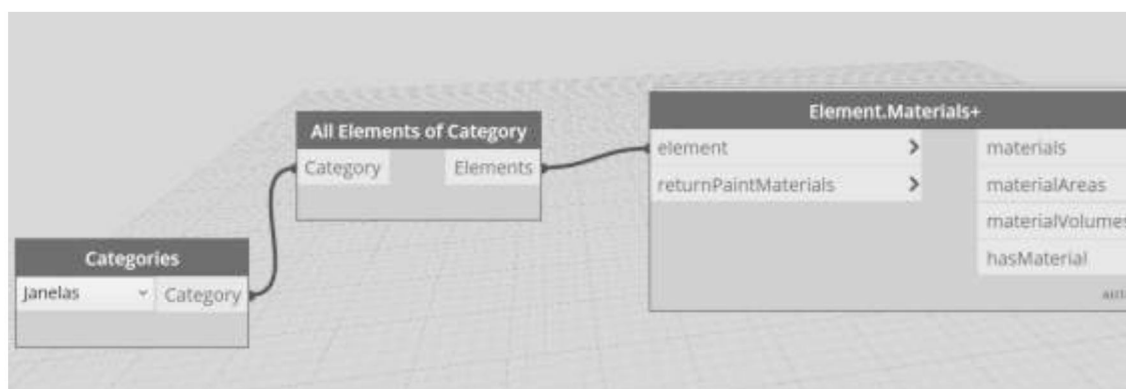
A extração de informações do modelo, dos quantitativos de materiais utilizados no projeto, foi realizada através de programação visual dentro de um ambiente de programação do próprio software de modelagem escolhido.

Este ambiente de programação dentro do software Revit® é chamado Dynamo, uma ferramenta de programação visual e de código aberto.

O Dynamo pode ser utilizado em diversas aplicações sejam essas de automatização de tarefas repetitivas, interações com o modelo do Revit®, ou para criação de modelos a partir de regras complexas ou de dados externos.

Criar uma aplicação em Dynamo é basicamente a montagem de uma sequência de tarefas a serem executadas. Cada tarefa pode ser entendida como um comando do próprio Revit®, mas também pode ser uma operação matemática ou qualquer outro recurso pré-programado. Ou seja, uma tarefa pode ser alterar o valor de um parâmetro de um elemento, selecionar objetos, comparar valores, ler e escrever planilhas de Excel, criar e apagar objetos no modelo, etc. Cada uma dessas tarefas individuais recebe o nome de “nó”. Ao conectar os nós necessários, o usuário cria uma sequência lógica que pode ser executada automaticamente. A Figura 8 representa a estrutura de programação no Dynamo.

Figura 8 - Exemplo da estrutura de programação do Dynamo

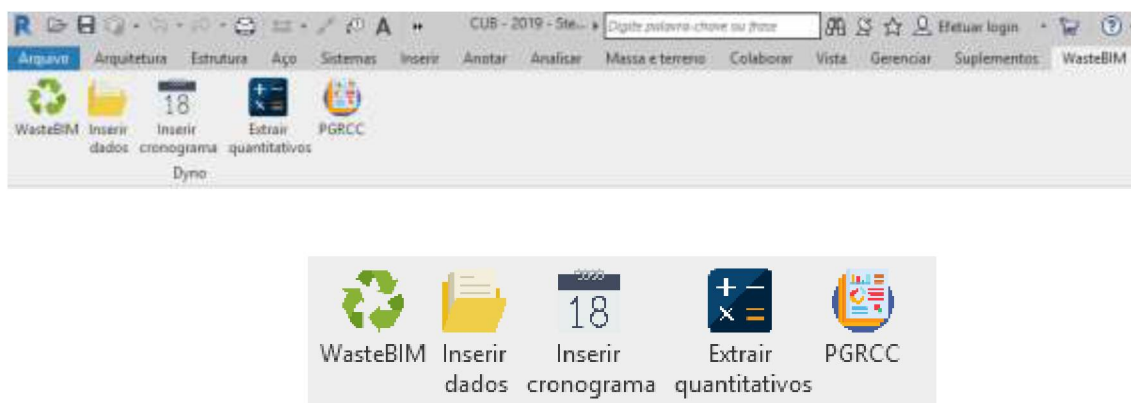


Fonte: Elaborado pela autora.

Para integrar as rotinas desenvolvidas no Dynamo ao modelo do Revit® foi utilizado o aplicativo Dyno Browser que proporciona a criação de abas específicas e a inicialização das rotinas sem a necessidade de abertura de outros programas.

Na Figura 9 é possível observar a disposição dos botões dentro do software Revit®.

Figura 9 - Aba WasteBIM dentro do software Revit®



Fonte: Elaborado pela autora.

O núcleo do aplicativo - processamento das informações e realização dos cálculos - é realizado através de uma planilha programada no Microsoft Excel.

A estrutura de processamento desenvolvida envolveu uma série de multiplicações realizada através da quantificação de materiais extraídos do modelo BIM pelo o índice de resíduos de cada material, representada na equação (1) apresentada no **Capítulo 3**.

O índice de geração de resíduos para cada material foi determinado a partir da revisão sistemática da literatura apresentada na seção 2.2 sobre métodos de quantificação de resíduos da construção e demolição, e é apresentado na Tabela 8.

O índice adotado foi a média dos valores para cada material ilustrados na Tabela 2, apresentada anteriormente. Os índices descritos na Tabela 8 são importantes de forma a estabelecer uma base de dados inicial para o método desenvolvido neste estudo.

Tabela 8 - índice de perdas adotado

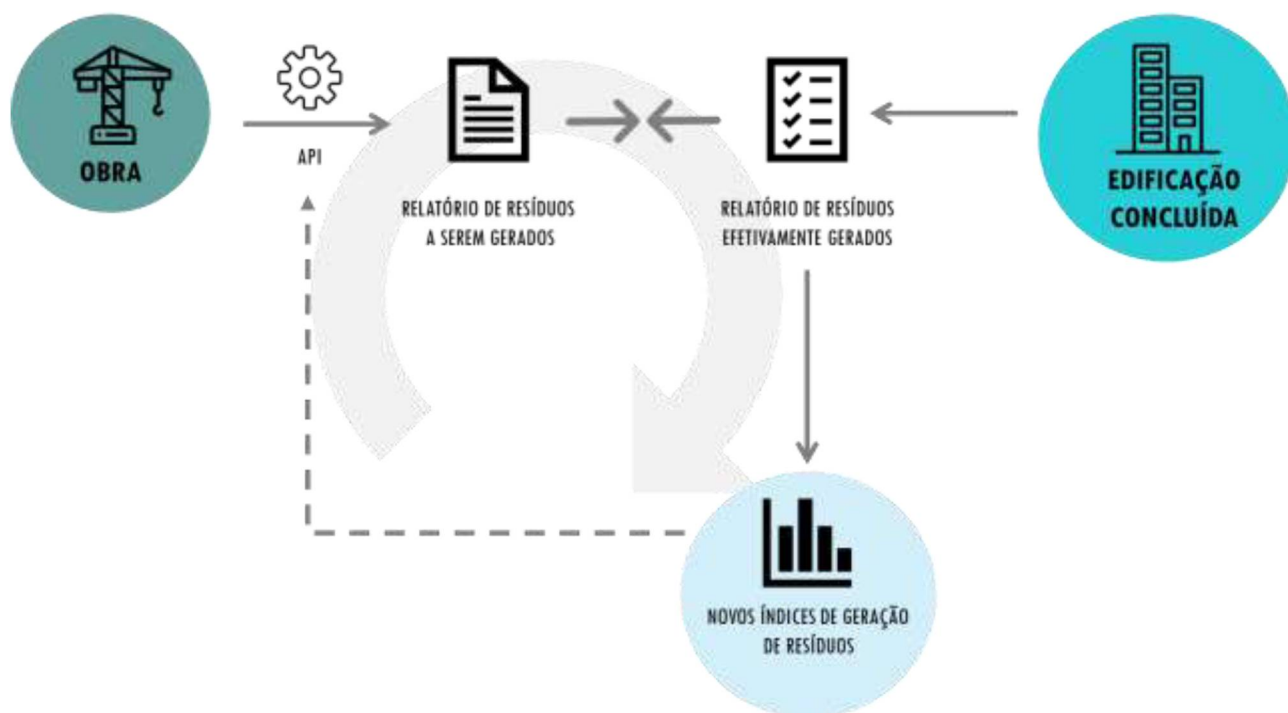
Material		Índice de perdas em %
Bloco cerâmico		22,3
Bloco concreto		10,7
Concreto		6,2
Aço		7,5
Fôrmas		12,5
Alumínio		2,9
Madeira		6,4
Fios e cabos		3,2
Tubos de PVC		3,5
Telhas		29,2
Dry-Wall		7,8
Argamassa	Assentamento	18,7
	Emboço	17,5
	Chapisco	16,7
	Reboco	10,4
	Contrapiso	19,8
Tinta	Pintura externa	13,5
	Pintura interna	11,0
Revestimentos cerâmicos	Paredes	9,2
	Piso	9,3
Gesso		30,0
Vidro		3,5
Mármore e granitos		4,4

Fonte: Elaborado pela autora.

No entanto, conforme retrata a Figura 10, estes índices iniciais não serão necessariamente os únicos a serem utilizados durante a aplicação do método.

Será possível através do método automatizado desenvolvido atualizar estes índices conforme o aplicativo tenha sido utilizado em diferentes obras. A partir dos dados reais das edificações concluídas, será facilmente possível incorporar os novos índices e, portanto, realizar estimativas cada vez mais reais.

Figura 10 - Atualização dos índices



Fonte: Elaborado pela autora.

A emissão dos relatórios é realizada através de uma impressora virtual o que proporciona a emissão de relatórios em formato pdf – formato de arquivo que pode ser facilmente aberto ou impresso.

A interface do aplicativo é apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Interface para usuário do "WasteBIM"



Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 RELATÓRIOS E FUNÇÕES

O aplicativo desenvolvido poderá ser utilizado conforme ilustra a Figura 12.

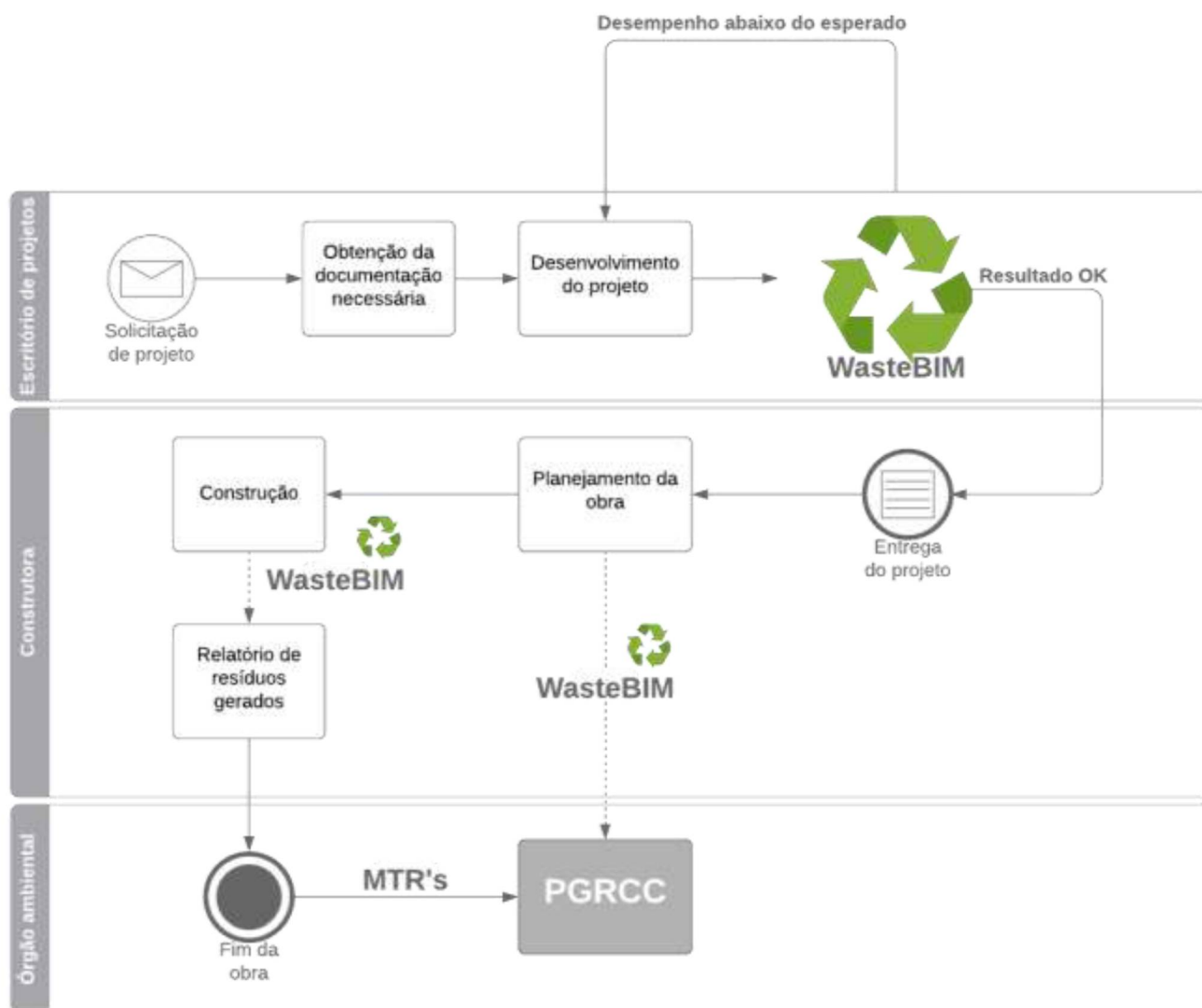
No escritório de projetos é feita uma solicitação para desenvolvimento de um novo projeto. Após essa solicitação são agrupados todos os documentos necessários e o projeto tem seu desenvolvimento iniciado.

Uma vez este projeto esteja finalizado é executado o aplicativo para verificar o desempenho do projeto. Estando de acordo, agora o projeto finalizado é enviado para a construtora. A construtora por sua vez realizará o planejamento da obra.

Com o planejamento pronto e as documentações de acordo, será possível elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC).

O plano elaborado é então enviado aos órgãos ambientais, antes do início da obra – para obtenção do alvará de construção. Após o alvará concedido, é iniciada a obra e são armazenados todos os dados referentes aos resíduos efetivamente gerados. Estes dados são inseridos no mesmo relatório, entregue anteriormente, proporcionando resultados comparativos de quantidade de resíduos planejada e efetivamente gerada.

Figura 12 - Rotina da utilização do aplicativo

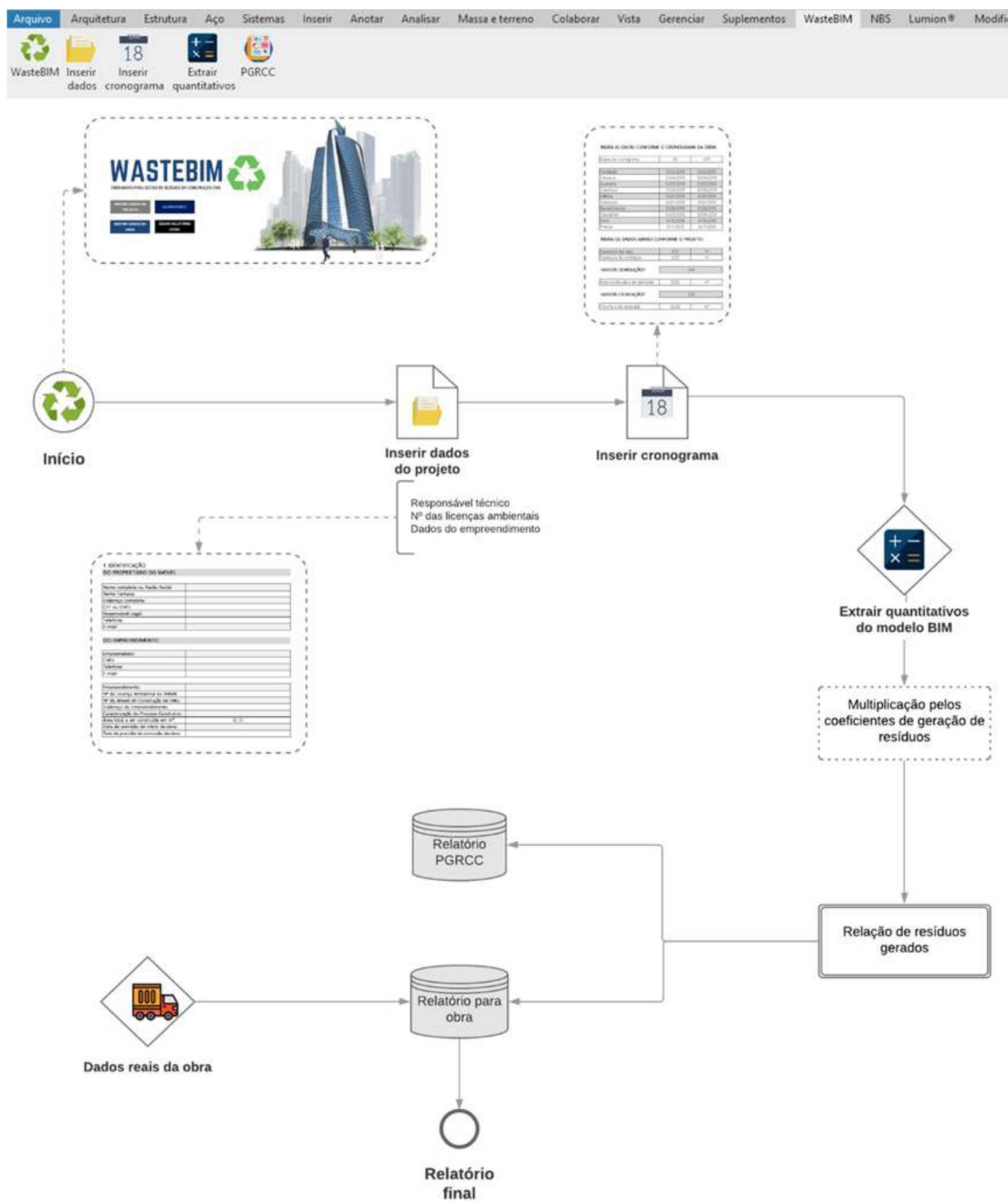


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 13 por sua vez ilustra a estrutura de processamento do aplicativo. Primeiramente são inseridos os dados do projeto e cronograma. Posteriormente são extraídos os quantitativos do modelo BIM.

São emitidos então os relatórios e inseridos os dados reais da obra, gerando o relatório final.

Figura 13 - Estrutura do aplicativo



Fonte: Elaborado pela autora.

As principais funções do aplicativo detalhadas pelos botões representados na Figura 11 são:

❖ Inserir dados do projeto:

Nesta aba o usuário deve inserir dados legais respectivos ao projeto, como: responsável técnico, empresa, endereço, etc. Conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14 - Inserir dados do projeto

PROJETO SIMPLIFICADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	
1. IDENTIFICAÇÃO DO PROPRIETÁRIO DO IMÓVEL	
Nome completo ou Razão Social:	
Nome fantasia:	
Endereço completo:	
CPF ou CNPJ:	
Responsável Legal:	
Telefone:	
E-mail:	
DO EMPREENDIMENTO	
Empreendedor:	
CNPJ:	
Telefone:	
E-mail:	
Empreendimento:	
Nº da Licença Ambiental da SMA:	
Nº do Alvará de Construção da SMU:	
Endereço do Empreendimento:	
Caracterização do Processo Construtivo:	
Área total a ser construída em m²:	50,18
Data de previsão de início da obra:	
Data de previsão de conclusão da obra:	
2. RESPONSÁVEIS PELO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	
ELABORAÇÃO DO PROJETO:	
Responsável técnico:	
Conselho de classe e nº de registro:	
Nº da ART:	
Empresa responsável:	
Endereço:	
Telefone:	
E-mail:	
IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	
Responsável técnico:	
Conselho de classe e nº de registro:	
Nº da ART:	
Empresa responsável:	
Endereço:	
Telefone:	
E-mail:	
Voltar para PÁGINA INICIAL	

Fonte: Elaborado pela autora.

❖ Inserir dados da obra:

Nesta aba o usuário insere os dados de cronograma da obra e se haverá demolição de construções anteriores e/ou escavação (com suas correspondentes áreas e volumes) – conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15 - Inserir dados da obra

INSIRA AS DATAS CONFORME O CRONOGRAMA DA OBRA:		
Etapa do cronograma	DE	ATE
Fundação	20/03/2019	30/03/2019
Estrutura	01/04/2019	30/04/2019
Alvenaria	01/05/2019	31/05/2019
Cobertura	01/06/2019	30/06/2019
Elétrica	01/07/2019	31/07/2019
Hidráulica	01/07/2019	31/07/2019
Revestimento	01/08/2019	31/08/2019
Acabados	01/09/2019	30/09/2019
Forma	01/10/2019	31/10/2019
Forma	01/11/2019	30/11/2019
INSIRA OS DADOS ABAIXO CONFORME O PROJETO:		
Espessura das lajes	0,18	m
Espessura do contrapiso	0,02	m
HAVERÁ DEMOLIÇÃO?	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
Área construída a ser demolida	10,00	m²
HAVERÁ ESCAVAÇÃO?	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
Volume a ser escavado	20,00	m³
Voltar para PÁGINA INICIAL		



Fonte: Elaborado pela autora.

Uma vez que todos os dados são informados, dois relatórios podem ser gerados.

❖ Gerar PGRCC:

O relatório PGRCC, Plano de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil, imprime informações legais e pode ser usado para solicitar licenças ambientais para a obra em órgãos públicos. Este relatório envolve o estágio "otimização do projeto", uma vez que seu resultado final é um único número, o volume total de resíduos gerados, conforme ilustra a Figura 16.

O modelo do relatório gerado foi estabelecido conforme o PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL – PGRCC da Prefeitura Municipal de Curitiba (CURITIBA, 2020).

A classificação de classes de resíduos apresentada foi elaborada conforme a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002).

Segundo esta legislação os resíduos da construção civil são classificados da seguinte forma:

- Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: materiais cerâmicos (tijolos, azulejos, blocos, telhas, placas de revestimento) argamassa e concreto.
 - de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios) produzidos nos canteiros de obras.
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação.
- Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

❖ Gerar relatório geral:

O relatório geral, por sua vez, envolve gráficos e dados simplificados que podem ajudar o Construtor a planejar o destino de resíduos e é necessário no estágio "gerenciamento da obra". Um exemplo de gráfico extraído do relatório geral é ilustrado na Figura 17.

❖ Inserir dados reais:

Nesta aba o usuário insere os dados de resíduos realmente gerados na obra em m³ e por classe e tipo de material.

❖ Gerar relatório planejado x realizado:

A partir dos dados inseridos na função anterior o aplicativo é capaz de gerar o relatório exibido na Figura 18. Este relatório possibilita a comparação dos resultados planejados e obtidos.

Figura 16 - Relatório PGRCC

PROJETO SIMPLIFICADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL				
3. CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD				
CARACTERIZAÇÃO		QUANTIDADE (m³)		
CLASSE	TIPO	ETAPA DA OBRA		SUBTOTAL
		DEMOLIÇÃO	CONSTRUÇÃO	
A	Solo (terra) volume solto		20,00	20,00
	Componentes cerâmicos	0,12	0,00	0,12
	Concreto	1,22	0,00	1,22
	Argamassa	1,52	0,00	1,52
	Material asfáltico			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe A:	2,86	20,00	22,86
B	Plásticos	0,03	0,22	0,25
	Papel/Papelão	0,03		0,03
	Metais	0,00	0,01	0,01
	Vidros	0,00	0,00	0,00
	Madeiras	0,06	0,00	0,06
	Gesso	0,06	0,00	0,06
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe B:	0,19	0,22	0,41
C	Massa asfáltica			
	Massa de vidro			
	Tubos de poliuretano			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe C:	0,00	0,00	0,00
D	Tintas		0,00	
	Solventes			
	Óleos			
	Materiais com amianto			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe D:	0,00	0,00	0,00
TOTAL (A+B+C+D):				23,27

QUADRO RESUMO DA CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD	
RESÍDUO	QUANTIDADE ESTIMADA (m³)
CLASSE A (solos)	20,00
CLASSE A (exceto solos)	2,86
CLASSE B	0,41
CLASSE C	0,00
CLASSE D	0,00
TOTAL	23,27

Os RCD deverão ser previamente segregados na obra de acordo com a classe.

Fonte: Elaborado pela autora.

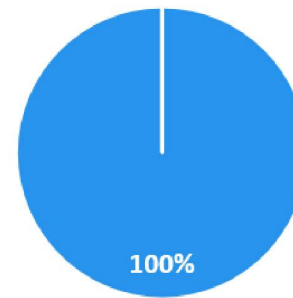
Figura 17 - Relatório Geral

PROJETO SIMPLIFICADO DE GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

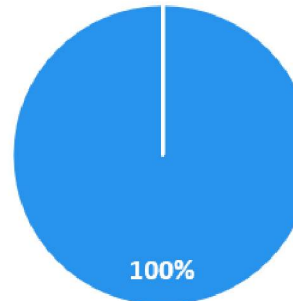
CLASSE	TIPO	TOTAL	%
A	Solo (terra) volume solto	0,00	0%
	Componentes cerâmicos	0,00	0%
	Pré moldados em concret	0,00	0%
	Argamassa	0,00	0%
	Material asfáltico	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe A:	0,00	0%
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
B	Plásticos	0,22	96%
	Papel/Papelão	0,00	0%
	Metais	0,01	4%
	Vidros	0,00	0%
	Madeiras	0,00	0%
	Gesso	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe B:	0,22	100%
	Nº DE CAÇAMBAS:	1,00	448%
C	Massa asfáltica	0,00	0%
	Massa de vidro	0,00	0%
	Tubos de poliuretano	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe C:	0,00	0%
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
D	Tintas	0,00	0%
	Solventes	0,00	0%
	Óleos	0,00	0%
	Materiais com amianto	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe D:	0,00	0%
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
TOTAL (A+B+C+D):		0,22	
Nº TOTAL DE CAÇAMBAS:		1,00	

% de Resíduos por Classe

■ Classe A ■ Classe B ■ Classe C ■ Classe D



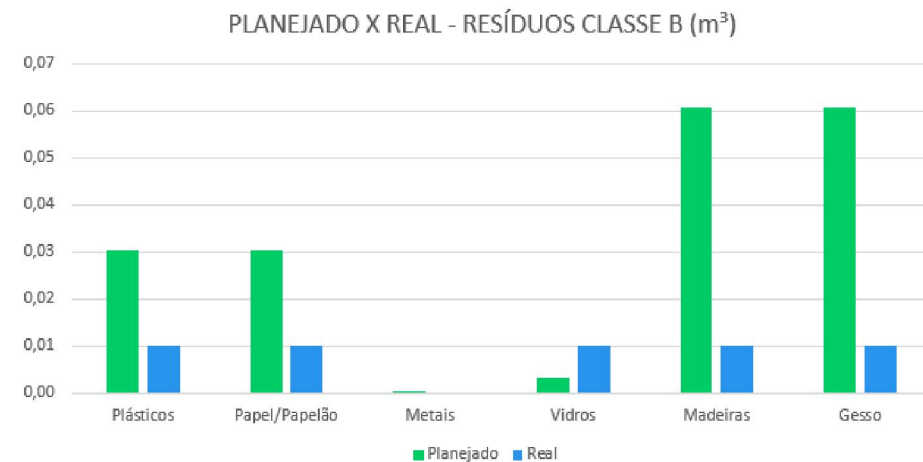
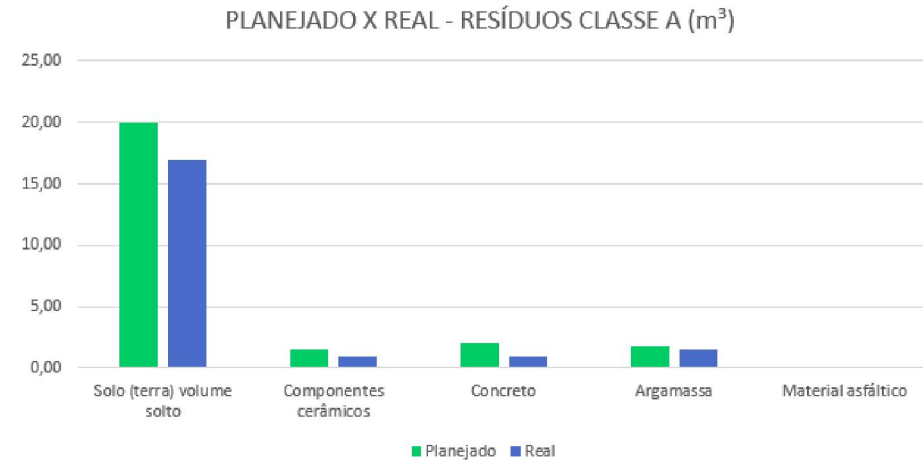
Número de Caçambas por Classe



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18 - Relatório planejado x real

PROJETO SIMPLIFICADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL			
3. CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD			
CLASSE	TIPO	QUANTIDADE (m³)	
		SUBTOTAL	
		PLANEJADO	REAL
A	Solo (terra) volume solto	20,00	17,00
	Componentes cerâmicos	1,56	1,00
	Concreto	2,00	1,00
	Argamassa	1,73	1,50
	Material asfáltico		
	Outros (especificar)		
TOTAL Classe A:		25,29	20,50
B	Plásticos	0,03	0,01
	Papel/Papelão	0,03	0,01
	Metais	0,00	0,00
	Vidros	0,00	0,01
	Madeiras	0,06	0,01
	Gesso	0,06	0,01
	Outros (especificar)		
	TOTAL Classe B:	0,19	0,05
C	Massa asfáltica		
	Massa de vidro		
	Tubos de poliuretano		
	Outros (especificar)		
TOTAL Classe C:		0,00	0,00
D	Tintas		
	Solventes		
	Óleos		
	Materiais com amianto		
	Outros (especificar)		
	TOTAL Classe D:	0,00	0,00
TOTAL (A+B+C+D):		25,48	20,55



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme mencionado anteriormente, o cálculo de geração de resíduos envolveu a multiplicação da quantidade de resíduos por um índice de geração dos mesmos.

No entanto, conforme o tipo de material, a unidade encontrada para o índice de geração de resíduos era diferente.

Por exemplo, para materiais como blocos cerâmicos ou blocos de concreto o índice estabelecido em literatura dizia respeito a unidades de blocos, enquanto que para materiais como aço este índice é relativo à massa de material em quilogramas.

Dessa forma foi necessário a programação para o ajuste destas unidades para volume em m³. Foram então utilizados índices de ajuste conforme ilustra a Tabela 9.

Tabela 9 - Ajuste de unidades

Material		Índice de perdas em %	Unidade	Índice de ajuste para m ³	Unidade do índice
Bloco cerâmico		22,3	un	0,007714	m ³ /un
Bloco concreto		10,7	un	0,007714	m ³ /un
Concreto		6,2	m ³	1	
Aço		7,5	kg	0,000127226	m ³ /kg
Fôrmas		12,5	m ²	1	
Alumínio		2,9	kg	0,00037037	m ³ /kg
Madeira		6,4	m ³	1	
Fios e cabos		3,2	m	0,0001	m ³ /m
Tubos de PVC		3,5	m	0,00025	m ³ /m
Telhas		29,2	m ²	0,05	m ³ /m ²
Dry-Wall		7,8	m ²	0,05	m ³ /m ²
Argamassa	Assentamento	18,7	m ³	1	
	Emboço	17,5	m ³	1	
	Chapisco	16,7	m ³	1	
	Reboco	10,4	m ³	1	
	Contrapiso	19,8	m ³	1	
Tinta	Pintura externa	13,5	L	0,001	L/m ³
	Pintura interna	11,0	L	0,001	L/m ³
Revestimentos cerâmicos	Paredes	9,2	m ²	0,05	m ³ /m ²
	Piso	9,3	m ²	0,05	m ³ /m ²
Gesso		30,0	m ²	0,05	m ³ /m ²
Vidro		3,5	m ²	0,05	m ³ /m ²
Mármore e granitos		4,4	m ²	0,05	m ³ /m ²

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o caso dos blocos cerâmicos e de concreto o índice de ajuste calculado foi dado através do volume (m^3) por unidade.

A dimensão dos blocos adotada foi de 14 x 19 x 29 cm, que apresentam um volume calculado de 0,007714 m^3 .

Para o aço foi utilizado sua massa específica, dada por 7.860 kg/m^3 . O valor elevado à potência -1 (ou valor inverso) resulta no índice de ajuste adotado.

Para o alumínio a lógica adotada foi a mesma, no entanto a massa específica utilizada foi a do próprio material que é 2.700 kg/m^3 .

Para fios e cabos e tubos de PVC foi adotada uma seção em m^2 para poder ser realizada a transformação para m^3 . Para fios e cabos foi adotada uma seção padrão de 1 cm^2 e para tubos de PVC a seção adotada foi de 2,5 cm^2 .

Para as telhas foi adotada uma espessura de 5 cm, assim como para as placas de dry-wall, o gesso, vidro, mármore e granitos.

Para as tintas, tanto internas quanto externas, foi simplesmente alterada a unidade de volume de litros para m^3 .

Como a modelagem de edificações em softwares BIM geralmente é feita no nível de formas da estrutura e não engloba a modelagem das armaduras e fôrmas necessárias para a execução da estrutura em concreto armado, foi necessário estabelecer alguns parâmetros.

Os consumos de aço e fôrmas foram dados através da TCPO 14 (2012).

Tabela 10 - Consumo de aço e fôrmas

Consumo	Unidade
91,68	kg de aço por m^3 de concreto
9,01	m^2 de forma por m^3 de concreto

Fonte: TCPO 14 (2012).

Foram adotados também consumos de m^3 de argamassa e de blocos cerâmicos e de concreto conforme a espessura da parede, fosse ela de 15 ou 20 cm no total. Os valores adotados na Tabela 11 também foram retirados da TCPO 14 (2012).

Tabela 11 - Consumo de argamassa e de blocos

Consumo	Unidade	Espessura da parede
0,0193	m^3 argamassa por m^2 de parede	15 cm
0,0236	m^3 argamassa por m^2 de parede	20 cm
13,5	blocos por m^2 de parede	15 cm
13,5	blocos por m^2 de parede	20 cm

Fonte: TCPO 14 (2012).

O último fator adotado conforme a TCPO 14 (2012) foi o consumo de tinta por área de parede conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Consumo de tinta por m² de parede

Consumo	Unidade
0,24	L de tinta interna por m ² de parede
0,24	L de tinta externa por m ² de parede

Fonte: TCPO 14 (2012).

5.4 REQUISITOS E LIMITAÇÕES

Como todo estudo científico desenvolvido, o trabalho aqui apresentado tem suas limitações e requisitos para aplicação.

Por se tratar de um estudo com fundamento baseado na tecnologia, um dos principais requisitos para a aplicação do método é o entendimento da mesma. Para a correta aplicação do método se faz necessário o desenvolvimento do modelo em software BIM, para tanto o usuário deve ser capacitado e entender a utilização do software BIM e também da teoria por trás da Modelagem da Informação da Construção.

O método desenvolvido foi baseado no software Revit®, podendo ser adaptável a outros softwares. No entanto para que ocorra esta adaptação é necessário o entendimento da linguagem de programação Dynamo e do próprio funcionamento do software BIM escolhido.

Uma vez que o usuário tenha conhecimento dos softwares e da linguagem de programação é então possível aplicar o método. No entanto deve-se levar em consideração ainda outros aspectos, relativos principalmente aos modelos e índices utilizados.

Um dos principais aspectos está relacionado aos materiais de construção. Os materiais presentes nas edificações modeladas deverão ser os mesmos relacionados na Tabela 8, para que os resultados sejam efetivamente gerados.

Caso os materiais cadastrados no modelo não sejam os mesmos dos relacionados na tabela, o resultado deverá ser tomado como inválido.

Outro aspecto a ser considerado é relacionado aos índices de geração de resíduos utilizados e apresentados na Tabela 8. Estes índices são a base de todo o desenvolvimento do aplicativo e deste trabalho. No entanto são índices que podem variar muito e podem ser muito sensíveis conforme o tipo de obra, devido a dois principais fatores, descritos a seguir:

- Ao método construtivo adotado: quanto mais industrializado o método menor será a quantidade de resíduos gerados;
- À especialização da mão de obra: quanto mais especializada e treinada for a mão de obra menor será a quantidade de resíduos gerados.

Além disso são índices de difícil obtenção, e por essa razão a falta de novos estudos sobre os mesmos.

Uma das grandes vantagens de um método automatizado, conforme apresentado neste trabalho, é a possibilidade de atualização desses índices conforme ilustra a Figura 10. Dessa forma, os índices podem estar sendo constantemente atualizados e verificados. No entanto para que isso efetivamente ocorra é necessário por parte do usuário, o conhecimento dos softwares e linguagens utilizados.

Assim como são necessários requisitos para a correta aplicação do estudo em outros modelos é necessário enumerar suas limitações.

O estudo concentrou-se na solução das etapas de: otimização do projeto e gerenciamento da obra, propostas na estrutura conceitual desenvolvida, conforme ilustrado na Figura 6.

Neste trabalho não foi abordada a programação e implementação do plano de desconstrução com a API utilizada, ficando o desenvolvimento desta parte do aplicativo como uma sugestão para trabalhos futuros.

Outra limitação se baseia no fato de que mesmo que uma solução de método construtivo gere menos desperdício de construção, é necessário verificar outros impactos ambientais, como as emissões de carbono, por exemplo, a fim de determinar se esta é realmente a opção mais sustentável.

Seria necessário então considerar análises do ciclo de vida (LCA) de emissões de carbono ou outros impactos ambientais para a consideração da sustentabilidade de uma edificação.

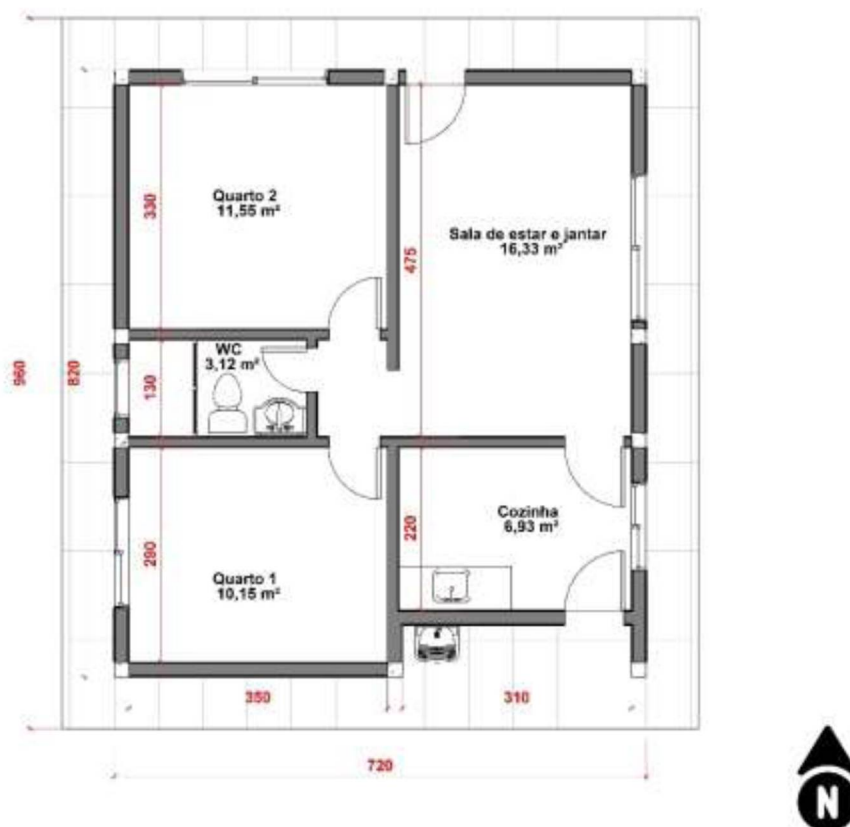
Neste capítulo se descreveram as etapas de desenvolvimento da estrutura conceitual e da programação de funcionalidades para utilização do aplicativo, assim como seus requisitos e suas limitações. Na sequência, com o Capítulo 6 é descrita a validação do método desenvolvido a partir do uso do aplicativo baseado em modelo BIM para quantificação de resíduos de construção civil.

6 APLICAÇÕES, RESULTADOS E VALIDAÇÃO

Para validar o aplicativo desenvolvido, uma edificação foi modelada. A edificação foi uma casa térrea, padrão do CUB – Custo Unitário Básico – da CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção) R1-B - residência padrão baixo com 1 pavimento, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque (SINDICATO ..., 2007).

A planta da residência modelada encontra-se na Figura 19.

Figura 19 - Planta baixa R1-B do CUB



Fonte: Adaptado de SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2007

O aplicativo foi então aplicado para quantificação dos resíduos gerados na construção desta edificação através de 3 (três) diferentes métodos construtivos, de forma a validar e generalizar o artefato proposto.

Os métodos construtivos escolhidos para o estudo foram: alvenaria convencional com estrutura em concreto armado, *light-steel frame* e *wood-frame*. A área total construída da casa modelada, nos três métodos, é de 82,56 m².

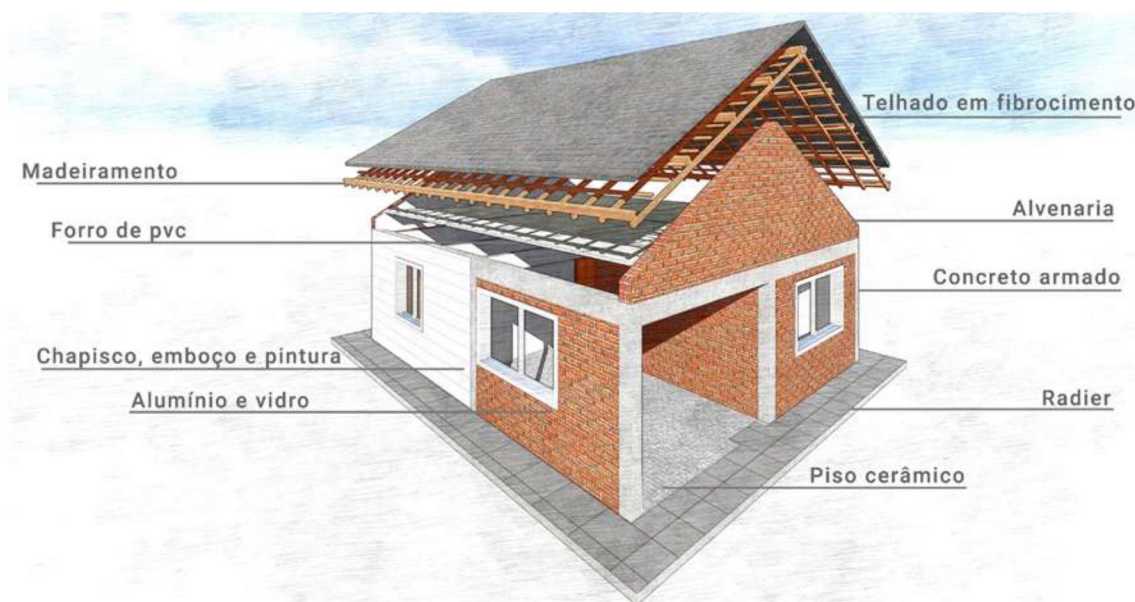
Os métodos escolhidos foram definidos por apresentarem diferenças na geração de resíduos, visto que os dois últimos apresentam uma construção mais racionalizada e tida portanto como mais sustentável, por gerar menos resíduos.

Dessa forma adotou-se verificar dentre os três métodos qual a proporção em relação à diferença na geração de resíduos e comparar estes resultados conforme a literatura para validação do aplicativo.

O método construtivo de alvenaria (Figura 20) com estrutura em concreto armado é tido como método convencional pois é o método mais adotado no Brasil para obras residenciais. Neste método toda a edificação é fabricada e construída no canteiro de obras. Os blocos de vedação são montados um a um e unidos por argamassa (VASCONCELLOS, 1979).

A argamassa e o concreto podem ser moldados no canteiro ou podem ser comprados prontos e entregues em caminhões betoneiras. No entanto, a execução continua sendo praticamente manual e esse método é caracterizado por uma maior taxa de geração de resíduos.

Figura 20 - R1-B modelada em alvenaria convencional



Fonte: Elaborado pela autora.

O *steel-frame* ou *light-steel frame* (Figura 21) é um sistema construtivo industrializado e altamente racionalizado, formado por estruturas de perfis de aço galvanizado. Seu fechamento é feito por placas, podendo ser cimentícias, de madeira ou de dry-wall.

Sua estrutura é composta basicamente por: fechamento externo, isolantes termoacústicos e fechamento interno.

Através do método *light-steel frame* é possível obter uma maior limpeza do canteiro de obras, pois não há necessidade do uso de água proporcionando uma construção seca, título pelo qual esse sistema construtivo também é chamado (ESCOLA ENGENHARIA, 2020).

Outra característica relevante é a precisão do sistema, tanto dos cálculos quantitativos (quantidade de material que será utilizado) quanto da execução. A geração de resíduos é tida pela prática como sendo praticamente zero, já que a estrutura é fabricada de forma industrial com as dimensões definidas em projeto, dispensando o corte de peças no canteiro de obras (ESCOLA ENGENHARIA, 2020).

Figura 21 - R1-B modelada em *light-steel frame*



Fonte: Elaborado pela autora.

Wood-frame (Figura 22) é um sistema construtivo com montantes e travessas em madeira revestidos por chapas igualmente feitas de madeira. A parte estrutural do *wood-frame* é composta por madeira maciça e as chapas de revestimento são em OSB ou *Oriented Strand Board* (ESCOLA ENGENHARIA, 2020).

Assim como o *light-steel frame*, o *wood-frame* é um método de construção mais racionalizado, pois a fabricação de suas peças estruturais e de vedação é realizada fora do canteiro de obras. Dessa forma, somente a montagem é feita em canteiro, reduzindo o desperdício e proporcionando edificações mais sustentáveis.

Figura 22 - R1-B modelada em wood-frame



Fonte: Elaborado pela autora.

As edificações foram então modeladas através da planta-baixa da Figura 19, conforme a experiência da autora.

Foram utilizados como base para o desenvolvimento dos modelos em *light-steel frame* e *wood-frame* o modelo real utilizado por MASS (2017) e disponibilizado pela autora, e um modelo *wood-frame*, também real, disponibilizado pela empresa C – citada no capítulo 4.2 – Realidade Específica, respectivamente.

Os modelos reais foram tomados como base para que não faltassem peças ou componentes a serem modelados. No entanto, os modelos fornecidos não foram utilizados diretamente pois para a validação do aplicativo e comparação dos resultados obtidos se fez necessário que a edificação fosse a mesma para os três diferentes métodos construtivos.

Como visto, a Figura 20, a Figura 21 e a Figura 22 ilustram a edificação modelada nos três diferentes métodos construtivos. Conforme pode-se observar nas figuras os revestimentos, telhado e fundação foram adotados como sendo os mesmos para os três métodos.

Sendo assim a diferenciação entre os métodos principalmente dada pelos materiais da estrutura e vedação.

Para a correta validação do aplicativo foi necessário inserir mais alguns dados além do modelo. A Tabela 13 ilustra o cronograma da obra adotado para todos os métodos construtivos.

Foram adotados em todos os modelos uma fundação em *radier* com espessura de 15 cm. Além disso, foi considerada a demolição de uma edificação de 10 m² para possibilitar o início da obra e uma escavação de 20 m³.

Tabela 13 - Cronograma da obra

Etapas do cronograma	DE	ATÉ
Fundação	01/03/2019	31/03/2019
Estrutura	01/04/2019	30/04/2019
Alvenaria	01/05/2019	31/05/2019
Cobertura	01/06/2019	30/06/2019
Elétrica	01/07/2019	31/07/2019
Hidráulica	01/07/2019	31/07/2019
Revestimentos	01/08/2019	31/08/2019
Esquadrias	01/09/2019	30/09/2019
Forro	01/10/2019	31/10/2019
Pintura	01/11/2019	30/11/2019

Fonte: Elaborado pela autora.

6.1 ALVENARIA

A Tabela 14 ilustra os resultados obtidos para a edificação em alvenaria, considerando as etapas de demolição, escavação e construção – agrupados conforme as classes de resíduos dadas pela Resolução CONAMA nº 307.

O relatório apresentado é o extraído pelo próprio aplicativo e encontra-se no formato necessário para entrega nos órgãos ambientais.

A Tabela 15 por sua vez ilustra a quantidade de resíduos em m³ por classe e por mês. A partir desta tabela, emitida também no aplicativo, é possível facilitar o planejamento do número de caçambas necessárias para retirada dos resíduos mensalmente.

Além disso é possível visualizar quais classes de resíduos serão descartados e planejar um reuso ou reciclagem ao invés de seu simples descarte.

Tabela 14 - Resultados para edificação em alvenaria

CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

CARACTERIZAÇÃO		QUANTIDADE (m³)		
CLASSE	TIPO	ETAPA DA OBRA		SUBTOTAL
		DEMOLIÇÃO	CONSTRUÇÃO	
A	Solo (terra) volume solto		20,00	20,00
	Componentes cerâmicos	0,12	4,27	4,40
	Concreto	1,22	4,66	5,87
	Argamassa	1,52	23,79	25,31
	Material asfáltico			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe A:	2,86	52,72	55,58
B	Plásticos	0,03	0,22	0,25
	Papel/Papelão	0,03		0,03
	Metais	0,00	0,07	0,07
	Vidros	0,00	0,00	0,00
	Madeiras	0,06	84,17	84,23
	Gesso	0,06	0,00	0,06
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe B:	0,19	84,46	84,64
C	Massa asfáltica			
	Massa de vidro			
	Tubos de poliuretano			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe C:	0,00	0,00	0,00
D	Tintas		4,23	4,23
	Solventes			
	Óleos			
	Materiais com amianto			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe D:	0,00	4,23	4,23
TOTAL (A+B+C+D):				144,45

QUADRO RESUMO DA CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

RESÍDUO	QUANTIDADE ESTIMADA (m³)
CLASSE A (solos)	20,00
CLASSE A (exceto solos)	35,58
CLASSE B	84,64
CLASSE C	0,00
CLASSE D	4,23
TOTAL	144,45

Os RCD deverão ser previamente segregados na obra de acordo com a classe.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15 - Resíduos em m³ por classe por mês

CLASSE	TIPO	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19
A	Solo (terra) volume solto									
	Componentes cerâmicos			2,58	1,24		0,45			
	Concreto	0,20	4,45							
	Argamassa			0,46			23,33			
	Material asfáltico									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe A:	0,20	4,45	3,04	1,24		23,78			
	Nº DE CAÇAMBAS:	1	1	1	1		4			
B	Plásticos					0,22				
	Papel/Papelão									
	Metais	0,00	0,06			0,01				
	Vidros							0,00		
	Madeiras	3,65	80,48					0,04		
	Gesso								0,00	
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe B:	3,66	80,54			0,22		0,04	0,00	
	Nº DE CAÇAMBAS:	1	14			1		1	1	
C	Massa asfáltica									
	Massa de vidro									
	Tubos de poliuretano									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe C:									
	Nº DE CAÇAMBAS:									
D	Tintas									4,23
	Solventes									
	Óleos									
	Materiais com amianto									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe D:									4,23
	Nº DE CAÇAMBAS:									1,00

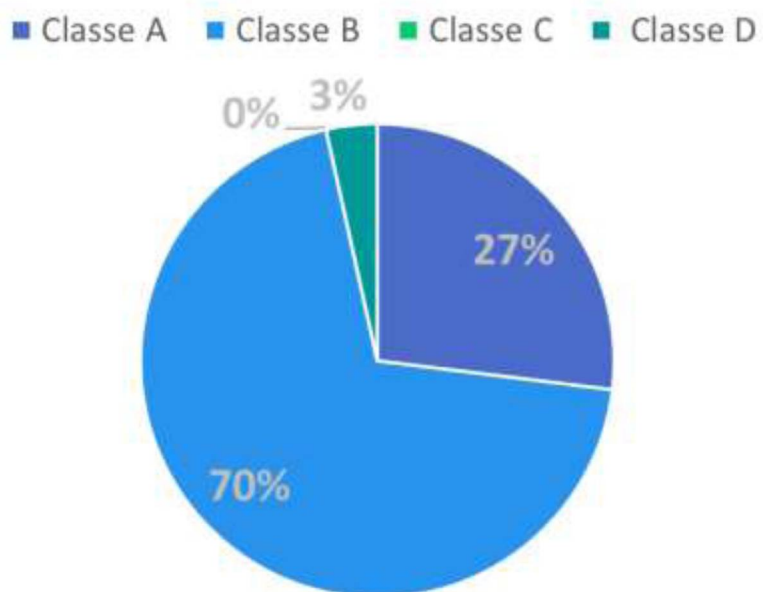
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 16 - Resumo total

CLASSE	TIPO	TOTAL (m³)	%
A	Solo (terra) volume solto	0,00	0%
	Componentes cerâmicos	4,27	4%
	Pré moldados em concreto	4,66	4%
	Argamassa	23,79	20%
	Material asfáltico	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe A:	32,72	27%
	Nº DE CAÇAMBAS:	8,00	7%
B	Plásticos	0,22	0%
	Papel/Papelão	0,00	0%
	Metais	0,07	0%
	Vidros	0,00	0%
	Madeiras	84,17	69%
	Gesso	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe B:	84,46	70%
	Nº DE CAÇAMBAS:	18,00	15%
C	Massa asfáltica	0,00	0%
	Massa de vidro	0,00	0%
	Tubos de poliuretano	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe C:	0,00	0%
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
D	Tintas	4,23	3%
	Solventes	0,00	0%
	Óleos	0,00	0%
	Materiais com amianto	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe D:	4,23	3%
	Nº DE CAÇAMBAS:	1,00	1%
TOTAL (A+B+C+D):		121,40	
Nº TOTAL DE CAÇAMBAS:		27,00	

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 8 - % de resíduos por classe



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 16 é possível visualizar um resumo de todo o resíduo gerado na obra. Sem considerar neste caso a etapa de escavação e remoção de solo. A partir da Tabela 16, foi desenvolvido o Gráfico 8.

A Tabela 17, por sua vez ilustra a quantidade de resíduos gerados por material, de acordo com o agrupamento da Tabela 8.

Tabela 17 - Resíduos gerados em m³

Quantidade total de resíduos gerados

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico		m³	A	2,58
Bloco concreto			A	0,00
Concreto			A	4,66
Aço			B	0,07
Fôrmas			B	84,13
Alumínio			B	0,00
Madeira			B	0,04
Fios e cabos			C	0,01
Tubos de PVC			C	0,22
Telhas			A	1,24
Dry-Wall			B	0,00
Argamassa	Assentamento		A	0,46
	Emboço		A	0,00
	Chapisco		A	0,00
	Reboco		A	23,00
	Contrapiso		A	0,33
Tinta	Pintura externa		D	1,71
	Pintura interna		D	2,51
Revestimentos cerâmicos	Paredes		A	0,07
	Piso		A	0,39
Gesso			B	0,00
Vidro			B	0,00
Mármore e granitos			A	0,00
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				121,40

Fonte: Elaborado pela autora.

6.2 LIGHT-STEEL FRAME

Na Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20, Tabela 21 e no Gráfico 9 são apresentados os resultados para a edificação modelada em *light-steel frame* – agrupados conforme as classes de resíduos dadas pela Resolução CONAMA nº 307.

Tabela 18 - Resultados para edificação em light-steel frame

CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

CARACTERIZAÇÃO		QUANTIDADE (m³)		
CLASSE	TIPO	ETAPA DA OBRA		SUBTOTAL
		DEMOLIÇÃO	CONSTRUÇÃO	
A	Solo (terra) volume solto		20,00	20,00
	Componentes cerâmicos	0,12	1,56	1,68
	Concreto	1,22	0,77	1,99
	Argamassa	1,52	0,23	1,76
	Material asfáltico			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe A:	2,86	22,57	25,43
B	Plásticos	0,03	0,22	0,25
	Papel/Papelão	0,03		0,03
	Metais	0,00	3,78	3,78
	Vidros	0,00	0,00	0,00
	Madeiras	0,06	13,99	14,05
	Gesso	0,06	0,01	0,07
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe B:	0,19	17,98	18,17
C	Massa asfáltica			
	Massa de vidro			
	Tubos de poliuretano			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe C:	0,00	0,00	0,00
D	Tintas		0,00	
	Solventes			
	Óleos			
	Materiais com amianto			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe D:	0,00	0,00	0,00
TOTAL (A+B+C+D):				43,60

QUADRO RESUMO DA CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

RESÍDUO	QUANTIDADE ESTIMADA (m³)
CLASSE A (solos)	20,00
CLASSE A (exceto solos)	5,43
CLASSE B	18,17
CLASSE C	0,00
CLASSE D	0,00
TOTAL	43,60

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 19 - Resíduos em m³ por classe por mês

CLASSE	TIPO	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19
A	Solo (terra) volume solto									
	Componentes cerâmicos				1,24		0,32			
	Concreto	0,77								
	Argamassa						0,23			
	Material asfáltico									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe A:	0,77			1,24		0,55			
	Nº DE CAÇAMBAS:	1			1		1			
B	Plásticos					0,22				
	Papel/Papelão									
	Metais	0,01	3,76			0,01				
	Vidros							0,00		
	Madeiras	13,95						0,04		
	Gesso								0,01	
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe B:	13,96	3,76			0,22		0,04	0,01	
	Nº DE CAÇAMBAS:	3	1			1		1	1	
C	Massa asfáltica									
	Massa de vidro									
	Tubos de poliuretano									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe C:									
	Nº DE CAÇAMBAS:									
D	Tintas									
	Solventes									
	Óleos									
	Materiais com amianto									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe D:									
	Nº DE CAÇAMBAS:									

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 20 - Resumo total

CLASSE	TIPO	TOTAL (m³)	%
A	Solo (terra) volume solto	0,00	0%
	Componentes cerâmicos	1,56	8%
	Pré moldados em concreto	0,77	4%
	Argamassa	0,23	1%
	Material asfáltico	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe A:	2,57	12%
	Nº DE CAÇAMBAS:	3,00	15%
B	Plásticos	0,22	1%
	Papel/Papelão	0,00	0%
	Metais	3,78	18%
	Vidros	0,00	0%
	Madeiras	13,99	68%
	Gesso	0,01	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe B:	17,98	88%
	Nº DE CAÇAMBAS:	7,00	34%
C	Massa asfáltica	0,00	0%
	Massa de vidro	0,00	0%
	Tubos de poliuretano	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe C:	0,00	0%
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
D	Tintas	0,00	0%
	Solventes	0,00	0%
	Óleos	0,00	0%
	Materiais com amianto	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe D:	0,00	0%
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
TOTAL (A+B+C+D):		20,55	
Nº TOTAL DE CAÇAMBAS:		10,00	

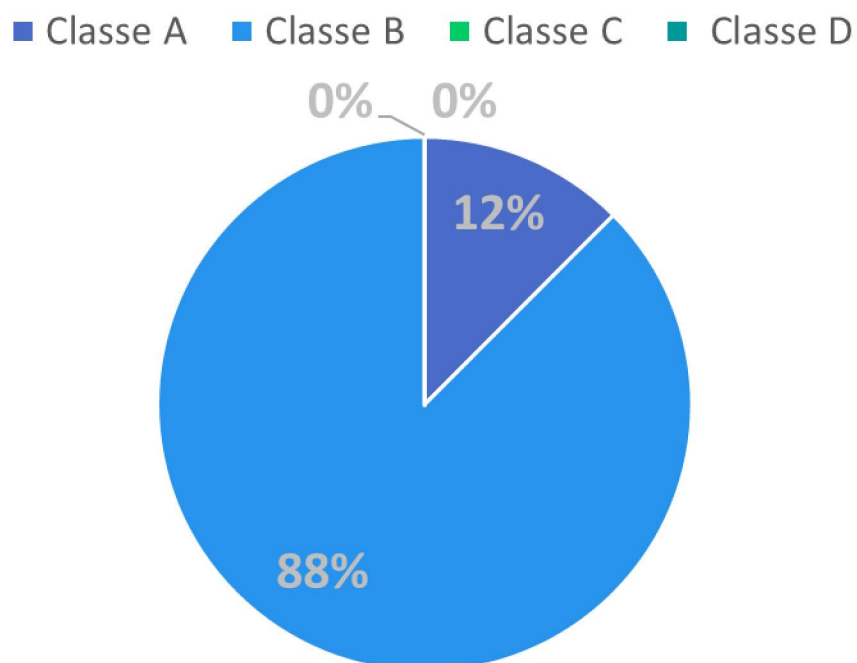
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 21 - Quantidade de resíduos gerados em m³**Quantidade total de resíduos gerados**

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico		m³	A	0,00
Bloco concreto			A	0,00
Concreto			A	0,77
Aço			B	3,77
Fôrmas			B	13,95
Alumínio			B	0,00
Madeira			B	0,04
Fios e cabos			C	0,01
Tubos de PVC			C	0,22
Telhas			A	1,24
Dry-Wall			B	0,02
Argamassa	Assentamento		A	0,00
	Emboço		A	0,00
	Chapisco		A	0,00
	Reboco		A	0,00
	Contrapiso		A	0,23
Tinta	Pintura externa		D	0,00
	Pintura interna		D	0,00
Revestimentos cerâmicos	Paredes		A	0,04
	Piso		A	0,28
Gesso			B	0,01
Vidro			B	0,00
Mármore e granitos			A	0,00
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				20,57

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 9 - % de resíduos por classe



Fonte: Elaborado pela autora.

6.3 WOOD-FRAME

Na Tabela 22, Tabela 23, Tabela 24, Tabela 25 e no Gráfico 10 são apresentados os resultados para a edificação modelada em *wood frame* – agrupados conforme as classes de resíduos dadas pela Resolução CONAMA nº 307.

Tabela 22 - Resultados para edificação em wood-frame

CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

CARACTERIZAÇÃO		QUANTIDADE (m³)		
CLASSE	TIPO	ETAPA DA OBRA		SUBTOTAL
		DEMOLIÇÃO	CONSTRUÇÃO	
A	Solo (terra) volume solto		20,00	20,00
	Componentes cerâmicos	0,12	1,56	1,68
	Concreto	1,22	0,77	1,99
	Argamassa	1,52	0,23	1,76
	Material asfáltico			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe A:	2,86	22,57	25,43
B	Plásticos	0,03	0,22	0,25
	Papel/Papelão	0,03		0,03
	Metais	0,00	0,02	0,02
	Vidros	0,00	0,00	0,00
	Madeiras	0,06	21,82	21,88
	Gesso	0,06	0,01	0,07
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe B:	0,19	22,06	22,24
C	Massa asfáltica			
	Massa de vidro			
	Tubos de poliuretano			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe C:	0,00	0,00	0,00
D	Tintas		0,00	
	Solventes			
	Óleos			
	Materiais com amianto			
	Outros (especificar)			
	TOTAL Classe D:	0,00	0,00	0,00
TOTAL (A+B+C+D):				47,67

QUADRO RESUMO DA CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RCD

RESÍDUO	QUANTIDADE ESTIMADA (m³)
CLASSE A (solos)	20,00
CLASSE A (exceto solos)	5,43
CLASSE B	22,24
CLASSE C	0,00
CLASSE D	0,00
TOTAL	47,67

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 23 - Resíduos em m³ por classe por mês

CLASSE	TIPO	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19
A	Solo (terra) volume solto									
	Componentes cerâmicos				1,24		0,32			
	Concreto	0,77								
	Argamassa						0,23			
	Material asfáltico									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe A:	0,77			1,24		0,55			
	Nº DE CAÇAMBAS:	1			1		1			
B	Plásticos					0,22				
	Papel/Papelão									
	Metais	0,01				0,01				
	Vidros							0,00		
	Madeiras	13,95	7,51	0,32				0,04		
	Gesso								0,01	
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe B:	13,96	7,51	0,32		0,22		0,04	0,01	
	Nº DE CAÇAMBAS:	3	2	1		1		1	1	
C	Massa asfáltica									
	Massa de vidro									
	Tubos de poliuretano									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe C:									
	Nº DE CAÇAMBAS:									
D	Tintas									
	Solventes									
	Óleos									
	Materiais com amianto									
	Outros (especificar)									
	TOTAL Classe D:									
	Nº DE CAÇAMBAS:									

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 24 - Resumo total

CLASSE	TIPO	TOTAL (m³)	%
A	Solo (terra) volume solto	0,00	0%
	Componentes cerâmicos	1,56	6%
	Pré moldados em concreto	0,77	3%
	Argamassa	0,23	1%
	Material asfáltico	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe A:	2,57	10%
	Nº DE CAÇAMBAS:	3,00	12%
B	Plásticos	0,22	1%
	Papel/Papelão	0,00	0%
	Metais	0,02	0%
	Vidros	0,00	0%
	Madeiras	21,82	89%
	Gesso	0,01	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe B:	22,06	90%
	Nº DE CAÇAMBAS:	9,00	37%
C	Massa asfáltica	0,00	0%
	Massa de vidro	0,00	0%
	Tubos de poliuretano	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe C:	0,00	0%
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
D	Tintas	0,00	0%
	Solventes	0,00	0%
	Óleos	0,00	0%
	Materiais com amianto	0,00	0%
	Outros (especificar)	0,00	0%
	TOTAL Classe D:	0,00	0%
	Nº DE CAÇAMBAS:	0,00	0%
TOTAL (A+B+C+D):		24,62	
Nº TOTAL DE CAÇAMBAS:		12,00	

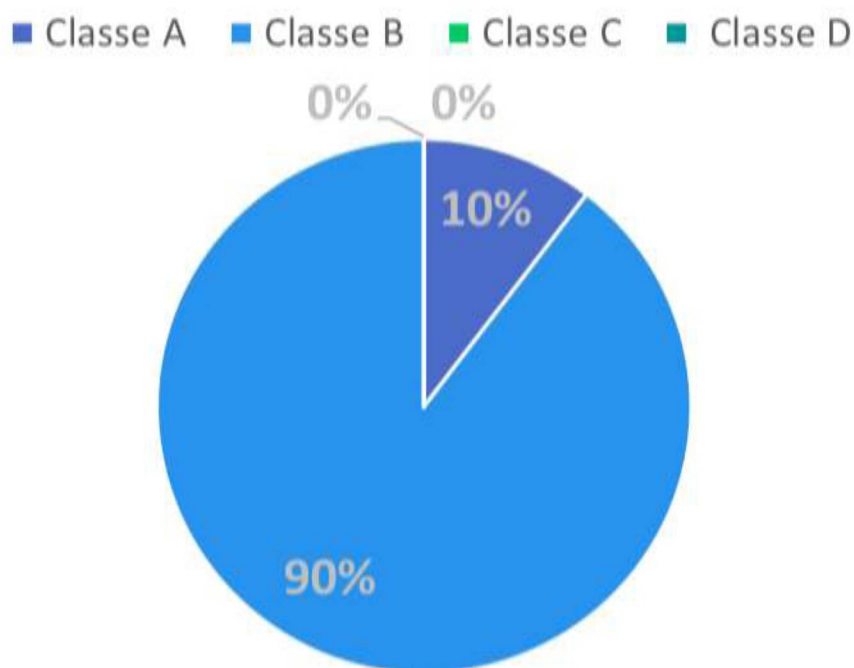
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 25 - Quantidade de resíduos gerados em m³**Quantidade total de resíduos gerados**

Material		UN	CLASSE	TOTAL
Bloco cerâmico		m³	A	0,00
Bloco concreto			A	0,00
Concreto			A	0,77
Aço			B	0,01
Fôrmas			B	13,95
Alumínio			B	0,00
Madeira			B	7,87
Fios e cabos			C	0,01
Tubos de PVC			C	0,22
Telhas			A	1,24
Dry-Wall			B	0,00
Argamassa	Assentamento		A	0,00
	Emboço		A	0,00
	Chapisco		A	0,00
	Reboco		A	0,00
	Contrapiso		A	0,23
Tinta	Pintura externa		D	0,00
	Pintura interna		D	0,00
Revestimentos cerâmicos	Paredes		A	0,04
	Piso		A	0,28
Gesso			B	0,01
Vidro			B	0,00
Mármore e granitos			A	0,00
VOLUME TOTAL DE RESÍDUO GERADO:				24,62

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 10 - % de resíduos por classe



Fonte: Elaborado pela autora.

6.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS E VALIDAÇÃO

A partir das seções anteriores é possível montar a Tabela 26 que ilustra os resultados obtidos em metros cúbicos de resíduos gerados por método construtivo. Conforme pode ser observado e já era esperado, o método convencional com vedação em alvenaria tem geração de resíduos total (em metros cúbicos) aproximadamente seis vezes maior do que os outros métodos alternativos.

Tabela 26 - Resultados de geração de resíduos em m³ por método construtivo

Material	UN	CLASSE	Alvenaria	Light-steel frame	Wood-frame
Bloco cerâmico	m³	A	2,6	0,0	0,0
Bloco concreto	m³	A	0,0	0,0	0,0
Concreto	m³	A	4,7	0,8	0,8
Aço	m³	B	0,1	3,8	0,0
Fôrmas	m³	B	84,1	14,0	14,0
Alumínio	m³	B	0,0	0,0	0,0
Madeira	m³	B	0,0	0,0	7,9
Fios e cabos	m³	C	0,0	0,0	0,0
Tubos de PVC	m³	C	0,2	0,2	0,2
Telhas	m³	A	1,2	1,2	1,2
Dry-Wall	m³	B	0,0	0,0	0,0
Argamassa	Assentamento	m³	A	0,5	0,0
	Emboço	m³	A	0,0	0,0
	Chapisco	m³	A	0,0	0,0
	Reboco	m³	A	23,0	0,0
	Contrapiso	m³	A	0,3	0,2
Tinta	Pintura externa	m³	D	1,7	0,0
	Pintura interna	m³	D	2,5	0,0
Revestimentos cerâmicos	Paredes	m³	A	0,1	0,0
	Piso	m³	A	0,4	0,3
Gesso	m³	B	0,0	0,0	0,0
Vidro	m³	B	0,0	0,0	0,0
Mármore e granitos	m³	A	0,0	0,0	0,0
Valor total (m³):			121,4	20,6	24,6

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 27 ilustra os resultados obtidos para os diferentes métodos construtivos comparados em relação a porcentagem de resíduos gerados em relação à quantidade de material total utilizado e em resíduos por m² de área construída.

Tabela 27 - Resultados por método construtivo

Parâmetro	Alvenaria	Light-steel frame	Wood-frame
Resíduos gerados total (m³)	121,4	20,6	24,6
Material utilizado (m³)	1037,6	190,6	262,2
Resíduos por material utilizado (%)	12%	11%	9%
Resíduos por m² de área construída (m³/m²)	1,5	0,2	0,3

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a Tabela 27, é possível verificar que a quantidade de material utilizada para o método construtivo convencional também é muito maior em relação aos métodos construtivos alternativos.

Esta diferença se dá pois nos métodos *light-steel frame* e *wood-frame* a produção e construção é muito mais industrializada, sendo necessários menos materiais nos canteiros de obras.

A partir dos números obtidos na Tabela 26 e na Tabela 27 foi possível verificar que os resultados foram próximos da ordem de grandeza esperada comparados com taxas de geração de resíduos encontradas na literatura.

Lu et al. (2011) relatam taxas de geração de resíduos para obras em alvenaria que variam de 3.275 kg/m² a 8.791 kg/m². Este valor convertido para a unidade de m³/m² através do fator dado por Tessaro, Sá e Scremin (2012) como sendo no valor de 1280 kg/m² resultaria em taxas de 2,91 a 6,86 m³/m². Enquanto Poon et al. (2004) relata valores de 0,176 m³/m² para atividades de construção com método industrializado (como é o caso do *light-steel frame* e *wood-frame*).

Devido à diversidade das obras e nas mais diversas regiões do mundo, era esperado que os valores não fossem exatamente iguais aos encontrados na literatura. No entanto por apresentarem a mesma ordem de grandeza e proporção em relação aos métodos construtivos estudados pode-se dar como validado o aplicativo.

A partir dos resultados, pode-se definir um índice de geração de resíduos (i) – m³ de resíduos por m² de área construída - para estimativas mais rápidas para outras obras utilizando estes mesmos três métodos construtivos.

Dessa forma, através de uma simples multiplicação é possível estimar os resultados de quantidade de resíduos gerados para os diferentes métodos construtivos, compará-los dentre as opções possíveis e adotar o melhor método conforme o desempenho esperado.

7 CONCLUSÕES E APRENDIZAGENS

Este trabalho tratou-se do desenvolvimento de um método para quantificação dos resíduos da construção civil. Este método foi baseado na proposta de um avanço tecnológico, através do desenvolvimento de um aplicativo. O aplicativo, intitulado “WasteBIM”, teve seu desenvolvimento iniciado a partir da identificação de um problema real na indústria da construção civil. Este problema identificado foi a dificuldade de se estabelecer índices de resíduos de construção e, portanto, de se realizar estimativas próximas da realidade quando se trata da geração de resíduos de construção.

Para o desenvolvimento do aplicativo foi necessário percorrer por diversas etapas: pesquisa bibliográfica, questionário com profissionais, desenvolvimento e validação. Durante todas estas etapas foi necessário atravessar barreiras, sendo a falta de estudos publicados relacionados com o tema – na etapa de pesquisa bibliográfica - e a dificuldade na aprendizagem da linguagem de programação – no desenvolvimento - as principais.

Uma das principais etapas, a validação do aplicativo, se deu através da sua utilização para quantificar os resíduos gerados em uma edificação modelada em três diferentes métodos construtivos. Essa etapa promoveu a avaliação do artefato e também a generalização do método, pois durante esta etapa puderam ser incluídas novas modificações decorrentes das aplicações. Estas novas modificações tornaram o processo de melhoria um ciclo e possibilitaram a generalização do método para novos problemas - aplicação do mesmo em diferentes edificações.

Os resultados obtidos na validação foram então comparados com resultados provenientes da literatura e, a partir da comparação desses resultados apresentados no **Capítulo 6 – Aplicações, resultados e validação** tomou-se como válido o “WasteBIM”. Com a aplicação do método proposto, no **Capítulo 6 – Aplicações, resultados e validação**, pode-se relatar as conclusões e aprendizagens. Através da aplicação do “WasteBIM” serão gerados maiores benefícios a:

- Engenheiros e arquitetos projetistas: devido à maior facilidade na geração de relatórios;
- Construtoras: um melhor gerenciamento promoverá a redução do desperdício – reduzindo custos para o desenvolvimento de novos empreendimentos;
- Órgãos fiscalizadores: através da disponibilidade de informações mais precisas será possível controlar melhor a geração e destinação de resíduos;

- Sociedade: através de um melhor gerenciamento serão gerados menos resíduos reduzindo o impacto ambiental e através da redução dos custos possibilitando um maior acesso à habitação.

Através da aplicação direta do "WasteBIM" é possível calcular e recalculer os resíduos gerados com diferentes métodos construtivos, de uma forma fácil e independente da atualização do modelo BIM, fornecendo todas as informações necessárias para apoiar as decisões de mudança de materiais de construção, sem prejuízo de celeridade, na necessária e urgente gestão de resíduos de uma obra em andamento.

A partir da utilização do "WasteBIM" é possível também facilitar o gerenciamento de resíduos no canteiro de obras através do planejamento prévio. Além disso é possível auxiliar na documentação para aprovação de projetos. Com a utilização do aplicativo será muito mais fácil e rápido a elaboração dos PGRCC e desta forma será possível trazer muito mais agilidade ao processo de documentação e aprovação de alvará de uma obra.

Como resultado teve-se também um índice de geração de resíduos, descrito na Tabela 27. O índice de geração de resíduos (i), dado em m^3 de resíduos por m^2 de área a ser construída, poderá ser usado para extrapolar soluções para diferentes tipos de edifícios e para se obter um resultado aproximado da geração de resíduos de construção. Esse índice de construção pode substituir o uso do "WasteBIM" para estimativas e análises rápidas para edificações construídas nos três métodos construtivos abordados neste trabalho.

Através da utilização do método proposto, com uso do aplicativo desenvolvido baseado em modelos BIM, é possível avaliar se o projeto se encontra no desempenho esperado ou não, e quais as possíveis modificações a serem realizadas.

A principal contribuição científica deste trabalho é então proporcionar a verificação do desempenho em relação à geração de resíduos integrada ao processo de projeto. Dessa forma, assim como as soluções desenvolvidas para ACV, proporcionando uma economia de tempo e custo para os projetistas.

Além disso, o trabalho desenvolvido inclui a elaboração de relatórios da geração de resíduos necessários para a aprovação de projetos na prefeitura. E, finalmente, também emite relatórios e resultados para facilitar o gerenciamento dos resíduos dentro da obra, ao longo do cronograma – integrando, portanto, a dimensão tempo ao gerenciamento dos resíduos com BIM.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma das principais limitações do método, descritas no **Capítulo 5.4 – Requisitos e limitações**, está na sua aplicabilidade somente aos métodos construtivos estudados (alvenaria, *light-steel frame* e *wood-frame*).

Dessa forma propõe-se como sugestão para trabalhos futuros o desenvolvimento e aprimoramento do método para que atenda outros métodos construtivos – também utilizados na indústria da construção civil brasileira.

Uma segunda limitação do trabalho desenvolvido, descrita no **Capítulo 5.4 – Requisitos e limitações**, está no fato de que todo o desenvolvimento foi baseado em índices de geração de resíduos de materiais obtidos através de estudos não tão recentes, ou que não dizem respeito à materiais aplicados diretamente na indústria da construção brasileira - justamente pela dificuldade na obtenção destes índices, pela falta de novos estudos e por estes variarem conforme a mão de obra e o método construtivo adotado em cada obra.

Para este estudo foi realizada uma revisão sistemática obtendo como resultado índices de diversos autores. E, no desenvolvimento deste trabalho foi considerado adotar-se a média dos resultados encontrados – como forma de simplificação.

Como sugestão para trabalhos futuros, ou como observação para uma nova versão do aplicativo desenvolvido, fica indicado que estes índices poderiam ter sido considerados como uma faixa de geração de resíduos. Assim como é realizado em demais estimativas científicas poderiam ter sido calculadas a máxima e mínima geração de resíduos possível.

Outra limitação, se baseia no fato de que mesmo que uma solução de método construtivo gere menos desperdício de construção, é necessário verificar outros impactos ambientais, como as emissões de carbono, por exemplo, a fim de determinar se esta é realmente a opção mais sustentável.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria então o desenvolvimento de um aplicativo semelhante, integrado a análises do ciclo de vida (LCA) de emissões de carbono ou outros impactos ambientais também importantes e necessários para a consideração da sustentabilidade de uma edificação.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. Brasília: Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2018.

AGOPYAN V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. **Pesquisa “Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras.”** Relatório final. EPUSP/FINEP/ITQC, 1998.

AJAYI, Saheed O. et al. Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 102, p.101-112, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.001>.

AKANBI, Lukman A. et al. Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 129, p.175-186, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>.

AKINADE, Olugbenga O. et al. Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 180, p.375-385, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.022>.

AKINADE, Olugbenga O. et al. Evaluation criteria for construction waste management tools: towards a holistic BIM framework. **International Journal Of Sustainable Building Technology And Urban Development**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.3-21, 2 jan. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/2093761x.2016.1152203>.

ALVES, Paulo. **Com Visual Studio Express, escreva aplicativos em C# e .NET gratuitamente.** Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/tudo-sobre/visual-studio-express.html>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

ALWAN, Zaid; JONES, Paul; HOLGATE, Peter. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 140, p.349-358, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.085>.

ARAUJO, A. M. F. **Avaliação de ciclo de vida energética em edificações a partir de modelagem BIM e simulação termo energética:** Aplicação utilizando Revit e Energyplus. 2018. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

ARUP. **Annual report.** London: Hampton Printing, 2016.

ARSHAD, H.; QASIM, M.; THAHEEM, M. J.; GABRIEL, H. F. Quantification of material wastage in construction industry of Pakistan: An analytical relationship between building types and waste generation. **Journal of Construction in Developing Countries**, v. 22, n. 2, p. 19–34, 2017.

AZEVEDO, Nathalia Cardoso de. **Avaliação do ciclo de vida energético e de CO2 através da modelagem da informação da construção (BIM) e simulação termo energética de uma habitação unifamiliar em wood frame.** 2019. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/64246/R%20-%20D%20%20NATHALIA%20CARDOSO%20DE%20AZEVEDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 24 fev. 2020.

AZHAR, Salman. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. **Leadership And Management In Engineering**, [s.l.], v. 11, n. 3, p.241-252, jul. 2011. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)lm.1943-5630.0000127](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)lm.1943-5630.0000127).

BAKSHAN, A.; SROUR, I.; CHEHAB, G.; EL-FADEL, M. A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 100, p. 70–80, 2015. Elsevier B.V. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.002>

BANIHASHEMI, Saeed; TABADKANI, Amir; HOSSEINI, M. Reza. Integration of parametric design into modular coordination: A construction waste reduction workflow. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 88, p.1-12, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.026>

BARROS, Brunno Pereira; HOCHLEITNER, Hugo Demay. **Criação de um plug-in aliado à tecnologia BIM para quantificação de resíduos da construção de uma habitação unifamiliar**. 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

BILAL, Muhammad et al. Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data. **International Journal Of Sustainable Building Technology And Urban Development**, [s.l.], v. 6, n. 4, p.211-228, 2 out. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/2093761x.2015.1116415>.

BILAL, Muhammad et al. Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework. **Journal Of Building Engineering**, [s.l.], v. 6, p.144-156, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.03.002>.

BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H. Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 122, n. 1, p. 55–60, 1996. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%2907339364%281996%29122%3A1%2855%29>.

CARPIO, M.; ROLDÁN-FONTANA, J.; PACHECO-TORRES, R.; ORDÓÑEZ, J. Construction waste estimation depending on urban planning options in the design stage of residential buildings. **Construction and Building Materials**, v. 113, p. 561–570, 2016. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.061>

CARVALHO, Henrique José Silva de. **USO DE FERRAMENTAS BIM NA QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO**: Parametrização na etapa de projeto arquitetônico. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

CHA, Hee Sung; KIM, Jeehye; HAN, Ju-yeoun. Identifying and Assessing Influence Factors on Improving Waste Management Performance for Building Construction Projects. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [s.l.], v. 135, n. 7, p.647-656, jul. 2009. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2009\)135:7\(647\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2009)135:7(647)).

CHENG, Jack C.p.; MA, Lauren Y.h.. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, [s.l.], v. 33, n. 6, p.1539-1551, jun. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001>

COMISSION, European. **Construction and Demolition Waste (CDW)**. Bruxelas: Ec, 2015. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm>. Acesso em: 30 abr. 2018.

CONAMA, Resolução 307, de 05 de julho de 2002. **Diretrizes e procedimentos para gestão dos resíduos da construção**. Brasília: MMA/CONAMA, 2002.

COSTA, R. V. G. DA; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; OLIVEIRA, M. M. DE. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 127–137, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000100011&lng=pt&tlng=pt>.

CRIPPA, Julianna. **Integração BIM-ACV como apoio à tomada de decisão na fase de concepção de projeto**. 2019. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Prefeitura Municipal (Org.). **Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil: PGRCC**. Disponível em: <<https://mid.curitiba.pr.gov.br/2019/00287416.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. **Design Science Research**. São Paulo: Bookman, 2015.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition**. Cowes: Ellen Macarthur Foundation, 2012. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

ESCOLA ENGENHARIA. **Steel frame**: o que é, características, vantagens e desvantagens. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/steel-frame/>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

ESCOLA ENGENHARIA. **Wood frame**: o que é, características, vantagens e desvantagens. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/wood-frame/>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia (Org.). **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. 2003. Disponível em: <<http://perdas.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

FORMOSO, Carlos T.. **Lean Construction**: princípios básicos e exemplos. Porto Alegre: Ufrgs, 2011. Disponível em: <<http://www.leansixsigma.com.br/acervo/2011520.PDF>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

GAVILAN, Rafael M.; BERNOLD, Leonhard E.. Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [s.l.], v. 120, n. 3, p.536-552, set. 1994. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(1994\)120:3\(536\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(1994)120:3(536)).

GONÇALVES, Augusto. **Meu primeiro plug-in Revit**. 2011: Autodesk, 2011.

GONÇALVES, Pedro Henrique; ITO, Ana Paula. CARVALHO, Débora Cristine Guerra de. A avaliação da perspectiva dos arquitetos na redução de resíduos na etapa de projeto arquitetônico. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 16-25, jan./mar. 2015. ISSN 1980-6809.

GE, Xin Janet et al. Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study. **Visualization In Engineering**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.1-15, 14 jul. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/s40327-017-0050-5>.

GUERRA, Beatriz C. et al. BIM-based automated construction waste estimation algorithms: The case of concrete and drywall waste streams. **Waste Management**, [s.l.], v. 87, p.825-832, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.010>.

GRUSSING, Michael N.. Life Cycle Asset Management Methodologies for Buildings. **Journal Of Infrastructure Systems**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.40-57, mar. 2014. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000157](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000157).

DE GUZMÁN BÁEZ, A.; VILLORIA SÁEZ, P.; DEL RÍO MERINO, M.; GARCÍA NAVARRO, J. Methodology for quantification of waste generated in Spanish railway construction works. **Waste Management**, v. 32, n. 5, p. 920–924, 2012.

HWANG, Bon-gang; SHAN, Ming; LOOI, Kit-ying. Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefinished volumetric construction. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 183, p.183-193, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.136>.

IPEA (Org.). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**: Relatório de Pesquisa. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012.

JALALI, Said. Quantification of construction waste amount. In: JORNADAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS DE RESÍDUOS, 6., 2007, Viseu. **Anais...**. Portugal: Si, 2007. p. 1 - 12.

KERN, Andrea Parisi et al. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, [s.l.], v. 39, p.35-44, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.043>.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Technical Report** TR/SE-0401, Keele University and NICTA, 2004.

JALAEI, Farzad; ZOGHI, Milad; KHOSHAND, Afshin. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). **International Journal Of Construction Management**, [s.l.], p.1-18, 28 mar. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2019.1583850>.

LEITNER, Drielle Sanchez. **Avaliação de desempenho em edificação de interesse social em Light Wood Frame**: Estudo de caso na região metropolitana de Curitiba com avaliação pré-ocupação do desempenho térmico, acústico, lumínico e qualidade do ar. 2019. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

LIU, Zhen et al. A BIM-aided construction waste minimisation framework. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 59, p.1-23, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.020>.

LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1261–1276, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.023>

LLATAS, C.; OSMANI, M. Development and validation of a building design waste reduction model. **Waste Management**, v. 56, p. 318–336, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.026>

LU, Weisheng et al. Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 68, p.587-595, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.029>.

LU, Weisheng et al. Estimating and calibrating the amount of building-related construction and demolition waste in urban China. **International Journal Of Construction Management**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.13-24, 25 abr. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2016.1166548>.

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. **Case Study Research in Logistics**. Turku: Turku School of Economics and Business Administration, 2003.

MARCOS, Micheline Helen Cot. **Análise da emissão de CO2 na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MARCOS, Micheline Helen Cot. **Método de obtenção de dados ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso da ferramenta BIM**. 2015. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MASS, Bárbara Holzmänn. **Resíduos de construção civil na obra de uma edificação e seus impactos**: estudo de caso de uma residência em Light Steel Framing e simulação de uma em alvenaria. 2017. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MERCADER-MOYANO, P.; RAMÍREZ-DE-ARELLANO-AGUDO, A. Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. **Waste Management and Research**, v. 31, n. 5, p. 458–474, 2013.

MIARA, Renata Degraf; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda; SCHEER, Sergio. Métodos para quantificação dos resíduos gerados na construção civil: uma revisão sistemática. In: ENCuentro LATINOAMERICANO Y EUROPEO SOBRE EDIFICACIONES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES, 3., 2019, Santa Fé. **Libro de Actas**. Santa Fe: Euroelecs, 2019. p. 149 - 158. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1rV4VH7ifSQwS12JYlnNklvhV7OZspwVQ/view>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

MIARA, R. D.; SCHEER, S. . Gerenciamento de resíduos da construção com BIM para uma economia circular: uma estrutura conceitual. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, 2019, Campinas. **Anais do Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação da Construção**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. v. 2.

MIARA, Renata Degraf; SCHEER, Sergio. Optimization of construction waste management through an integrated BIM-API. **Iberoamerican Journal Of Industrial Engineering**. Florianópolis, p. 110-122. dez. 2019. Disponível em: <<http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/V11n22>>. Acesso em: 17 jan. 2020.

MIARA, Renata Degraf; TAVARES, Sergio Fernando; SCHEER, Sergio. Gerenciamento de resíduos da construção com BIM: Uma exploração sobre a realidade atual. In: Simpósio brasileiro de gestão e economia da construção, 11., 2019, Londrina. **Anais do Simpósio brasileiro de gestão e economia da construção**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1 - 11.

MOE (Org.). **History and Current State of Waste Management in Japan**. Tóquio: Moe, 2014. Disponível em: <<http://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/attach/hcswm.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NAGALLI, André. Quantitative method for estimating construction waste generation. **The Eletronic Journal Of Geotechnical Engineering**. Bund H., p. 1157-1162. 2012. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2012/Ppr12.095wlr.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

OLIVEIRA, Eloise de. **Contribuição para análise do ciclo de vida no ambiente construído visando a energia e o CO2 embutidos no sistema construtivo Wood Frame**. 2016. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

O'REILLY, Alistair. Using BIM as a tool for cutting construction waste at source. **Construction Research And Innovation**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.28-31, mar. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/20450249.2012.11873828>.

PERICOT, N. González et al. Production patterns of packaging waste categories generated at typical Mediterranean residential building worksites. **Waste Management**, [s.l.], v. 34, n. 11, p.1932-1938, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.020>.

PINTO, T. P. **Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais**. São Carlos, 1989. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. (Datilografado).

POON, C.s; YU, Ann T.w; NG, L.h. On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.157-172, jun. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0921-3449\(01\)00052-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0921-3449(01)00052-0).

PORRAS, Á. C.; LEÓN, Ó. P.; CORTÉS, N. L. G. Unidad logística de recuperación de residuos de construcción y demolición: Estudio de caso Bogotá D.C. **Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, v. 23, n. 2, p. 95, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702013000200006&lng=en&nrm=iso&tlng=es%5Cnhttp://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/225>.

PORWAL, Atul; HEWAGE, Kasun N.. Building Information Modeling–Based Analysis to Minimize Waste Rate of Structural Reinforcement. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [s.l.], v. 138, n. 8, p.943-954, ago. 2012. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000508](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000508).

PRISM ENVIRONMENT (United Kingdom). **Construction sector overview in the UK**. London: Prism Environment, 2012.

ROSENBAUM, Sergio; TOLEDO, Mauricio; GONZÁLEZ, Vicente. Improving Environmental and Production Performance in Construction Projects Using Value-Stream Mapping: Case Study. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [s.l.], v. 140, n. 2, p.345-401, fev. 2014. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000793](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000793).

SÁEZ, P. V.; PORRAS-AMORES, C.; DEL RÍO MERINO, M. New quantification proposal for construction waste generation in new residential constructions. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 58–65, 2015.

SEBRAE. **Boletim de Inteligência: Lean Construction**. São Paulo: Sebrae, 2016. Disponível em: <[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/915da34f0af2e4e29793825ac33833bf/\\$File/7252.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/915da34f0af2e4e29793825ac33833bf/$File/7252.pdf)>. Acesso em: 13 jul. 2019.

SCHUETTE, Stephen D.; LISKA, Roger W.. **Building construction estimating**. Michigan: Mcgraw Hill, 1994.

SIMON, H.A.. **The Sciences of the artificial**. 3. ed. Cambridge: Mit Press, 1996.

SOIBELMAN, L. As Perdas de Materiais na Construção de Edificações: sua Incidência e seu Controle. **Dissertação**, v. 7, n. 1, p. 82, 1993.

SOLÍS-GUZMÁN, Jaime et al. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, [s.l.], v. 29, n. 9, p.2542-2548, set. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.009>.

TCPO 14. **Tabela de Composições de Preços para Orçamentos**. São Paulo: Pini, 2012. 441 p.

TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 121–130, 2012.

THE GLOBAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTER. **Defining Life Cycle Assessment**. Disponível em: <<http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

UMAR, Usman Aminu et al. Application of Structural Building Information Modeling (S-BIM) for Sustainable Buildings Design and Waste Reduction: A review. **International Journal Of Applied Engineering Research**, Petronas, v. 2, n. 11, p.1523-1532, mar. 2016.

VASCONCELLOS, Sylvio. **Arquitetura no Brasil: Sistemas Construtivos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1979.

WEETMAN, Catherine. **Economia circular: Conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente sustentável e lucrativa**. São Paulo: Autêntica Business, 2019.

WIMALASENA, B. A. D. S.; RUWANPURA, J. Y.; HETTIARATCHI, J. P. A.. Modeling Construction Waste Generation towards Sustainability. **Construction Research Congress 2010**, [s.l.], p.1-12, 4 maio 2010. American Society of Civil Engineers. [http://dx.doi.org/10.1061/41109\(373\)150](http://dx.doi.org/10.1061/41109(373)150).

WON, J.; CHENG, J. C. P.; LEE, G. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. **Waste Management**, v. 49, p. 170–180, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.026>

WU, H.; DUAN, H.; WANG, J.; WANG, T.; WANG, X. Quantification of carbon emission of construction waste by using streamlined LCA: a case study of Shenzhen, China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 17, n. 4, p. 637–645, 2015. Springer Japan.

WONG, Johnny Kwok Wai; ZHOU, Jason. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 57, p.156-165, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Towards the Circular Economy**. Geneva: World Economic Forum, 2014. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2019.

WRAP, Waste & Resources Action Programme, Guide 2010. **Designing out Waste: a design team guide for buildings**. Disponível em: <<http://www.wrap.org.uk/content/designing-out-waste-design-team-guide-buildings-0>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

YATES, J. K.. Design and Construction for Sustainable Industrial Construction. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [s.l.], v. 140, n. 4, p.40-50, abr. 2014. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000673](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000673).

YIN, Xianfei et al. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 101, p.72-91, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.010>.

ZHANG, Wei et al. The hindrance to using prefabrication in Hong Kong's building industry. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 204, p.70-81, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.190>.

Apêndice A

Protocolo da revisão sistemática da literatura

Objetivo		Identificar, avaliar e interpretar os métodos de quantificação dos resíduos da construção civil existentes
Questões de pesquisa		(1) qual o estado da arte dos métodos para quantificar resíduos da C&D? (2) quais são as ferramentas desenvolvidas? (3) em que fases do ciclo de vida da edificação estes estudos foram aplicados?
Intervenção		Estudos relativos à quantificação dos resíduos da construção civil
Resultados		Identificação, avaliação e interpretação dos métodos existentes
Estratégias de busca para seleção dos estudos	Fonte	- Scopus - ASCE Library - Portal periódico da CAPES - Scielo
	Idioma	Inglês e Português
	Termos de busca	"construction waste", "quantification", "management"
	Onde	Título, resumo e palavras-chave.
	Tipos de Artigo	Disponíveis integralmente em meio eletrônico em bases de dados científicas da área e no intervalo temporal entre 1990-2018.
Filtros	CrITÉrios de Inclusão	Trabalhos que abordam métodos para quantificar resíduos sólidos da construção e demolição.
	CrITÉrios de Exclusão	Trabalhos não direcionados para a área de AEC.
CrITÉrios de qualidade		Trabalho publicado em periódico ou congresso.
Estratégia de extração de informação		No levantamento geral, serão tabuladas informações básicas (dados bibliográficos, ano de publicação, campo de estudo e palavras-chave). Os estudos selecionados para leitura analítica integral serão objeto de preenchimento para alimentar um conjunto de formulários de extração de dados. Além destas informações, os formulários devem conter a síntese do trabalho e observações acerca do conteúdo e das conclusões do estudo.
Sumarização dos resultados		Após a leitura e o resumo dos trabalhos selecionados serão elaborados gráficos e tabelas para análises quantitativa e qualitativa.

Apêndice B

Protocolo da revisão sistemática da literatura

Objetivo		Identificar, avaliar e interpretar os estudos existentes sobre o gerenciamento de resíduos da construção e da demolição com BIM
Questões de pesquisa		(1) qual o estado da arte dos estudos sobre gerenciamento dos resíduos com BIM? (2) qual o método utilizado nestes estudos? (3) em que fases do ciclo de vida da edificação estes estudos foram aplicados?
Intervenção		Estudos relativos ao gerenciamento dos resíduos da construção civil
Resultados		Identificação, avaliação e interpretação dos métodos existentes
Estratégias de busca para seleção dos estudos	Fonte	- Scopus - ASCE Library - Compendex
	Idioma	Inglês e Português
	Termos de busca	"BIM", "construction waste"
	Onde	Título, resumo e palavras-chave.
	Tipos de Artigo	Disponíveis integralmente em meio eletrônico em bases de dados científicas da área e no intervalo temporal entre 1990-2018.
Filtros	CrITÉrios de Inclusão	Trabalhos que abordam estudos sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos da construção e demolição com BIM.
	CrITÉrios de Exclusão	Trabalhos não direcionados para a área de AEC ou que não abordam a utilização do BIM.
CrITÉrios de qualidade		Trabalho publicado em periódico.
Estratégia de extração de informação		No levantamento geral, serão tabuladas informações básicas (dados bibliográficos, ano de publicação, campo de estudo e palavras-chave). Os estudos selecionados para leitura analítica integral serão objeto de preenchimento para alimentar um conjunto de formulários de extração de dados. Além destas informações, os formulários devem conter a síntese do trabalho e observações acerca do conteúdo e das conclusões do estudo.
Sumarização dos resultados		Após a leitura e o resumo dos trabalhos selecionados serão elaborados gráficos e tabelas para análises quantitativa e qualitativa.

Apêndice C

Questionário

Questionário: **BIM como ferramenta para redução dos resíduos da construção civil**

Esta pesquisa faz parte de uma dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, sub-área de Gestão, da Universidade Federal do Paraná (PPGECC) e tem como objetivo explorar a realidade atual do gerenciamento de resíduos da construção e do uso dos processos BIM. O questionário tem como público-alvo engenheiros e arquitetos atuantes nas fases de projeto, planejamento e execução de obras civis.

Endereço de e-mail:

Formação:

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Engenheiro(a) Civil |
| <input type="checkbox"/> | Arquiteto(a) |
| <input type="checkbox"/> | Técnico(a) em edificações |
| <input type="checkbox"/> | Outros: |

Atuação profissional:

- | | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Construtora |
| <input type="checkbox"/> | Escritório de projetos |
| <input type="checkbox"/> | Empresa de demolição |
| <input type="checkbox"/> | Empresa de coleta e destinação dos resíduos da construção civil |
| <input type="checkbox"/> | Profissional autônomo |

Nome da empresa em que atua:

Número de funcionários da empresa em que atua:

- | | |
|--------------------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> | 1-10 |
| <input type="checkbox"/> | 11-25 |
| <input type="checkbox"/> | 26-50 |
| <input type="checkbox"/> | 51-100 |
| <input type="checkbox"/> | Mais de 100 |

Anos de experiência do profissional no mercado

<input type="checkbox"/>	0-5
<input type="checkbox"/>	6-10
<input type="checkbox"/>	11-15
<input type="checkbox"/>	Mais de 15

Cidade em que o profissional atua:

Você utiliza o BIM em seus projetos?

<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não

Como você avalia seu conhecimento a respeito de BIM?

<input type="checkbox"/>	Nível básico
<input type="checkbox"/>	Nível intermediário
<input type="checkbox"/>	Nível avançado
<input type="checkbox"/>	Desconheço o BIM

Você acredita que o BIM pode ser adotado como um processo para redução dos resíduos gerados durante a construção?

<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não

Você acredita que o arquiteto e/ou engenheiro projetista tem um papel significativo na redução dos resíduos gerados?

<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não
<input type="checkbox"/>	Talvez

Você acredita que o arquiteto e/ou engenheiro projetista tem um papel significativo na redução dos resíduos gerados?

<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não
<input type="checkbox"/>	Talvez

Você acredita que quantificar resíduos da construção na etapa de projeto pode ajudar a reduzir os resíduos de uma obra de maneira geral?

<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não
<input type="checkbox"/>	Talvez

Em que medida você acha que ocorreria essa redução?

<input type="checkbox"/>	Muito baixo
<input type="checkbox"/>	Baixo
<input type="checkbox"/>	Médio
<input type="checkbox"/>	Alto
<input type="checkbox"/>	Muito alto

A geração de resíduos foi considerada em seu último projeto?

<input type="checkbox"/>	Sim
<input type="checkbox"/>	Não

Classifique os seguintes sistemas conforme a geração de resíduos na etapa de construção:

Escala de (1-5) sendo 5 os sistemas mais geradores de resíduos

Sistemas estruturais	1	2	3	4	5
Metálica					
Concreto-armado					
Concreto pré-moldado					
Sistemas de vedação	1	2	3	4	5
Dry-wall					
Alvenaria convencional					
Wood framing					
Alvenaria estrutural					

Em quais etapas do projeto você acredita que a geração de resíduos deve ser considerada?

<input type="checkbox"/>	Estudo preliminar
<input type="checkbox"/>	Ante projeto
<input type="checkbox"/>	Projeto legal
<input type="checkbox"/>	Projeto executivo

Escala de (1-5) sendo 5 para as barreiras mais impactantes					
Barreiras	1	2	3	4	5
Preocupação com outros aspectos do projeto					
Falta de incentivos financeiros					
Falta de legislação					
Restrição de tempo					
Dados de geração de resíduos são muito difíceis de se obter					
Falta de motivação pessoal					

Você acredita que um aplicativo BIM com quantitativos de resíduos aliado ao cronograma de obra poderia auxiliar na redução dos resíduos gerados?

()	Sim
()	Não
()	Talvez